

**VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO DEL SISTEMA
SOCIOECOLOGICO ALTOANDINO, PARAMO RABANAL, REGION
CUNDIBOYACENSE - COLOMBIA**

Presentado por:

Luis Hernando Estupiñán Bravo



**Doctorado
Interinstitucional en
Ciencias Ambientales**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
PEREIRA
2021**

**VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMATICO DEL SISTEMA
SOCIOECOLOGICO ALTOANDINO PARAMO RABANAL, REGION
CUNDIBOYACENSE - COLOMBIA**

Presentado por:

Luis Hernando Estupiñán Bravo

**Trabajo de grado para optar al título de
Doctor en Ciencias Ambientales PhD**

Director:

**JUAN CARLOS CAMARGO GARCIA
Agrólogo, M.Sc. PhD
Profesor Investigador UTP**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
DOCTORADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS AMBIENTALES
PEREIRA
2021**

NOTA DE ACEPTACION

Firma del Director

Pereira - 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a mi familia integrada por Dionelly, Esteban y Ana María por su apoyo constante y paciencia, de ellos siempre obtengo comprensión y cariño.

Al Dr. Juan Carlos Camargo por su asesoría, consejos, dirección en la investigación y especialmente por creer e incentivar el trabajo que se desarrolla en los páramos.

A la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. por el apoyo en todos los aspectos relacionados con el Doctorado.

A la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira, UTP por hacer posible el desarrollo del doctorado. Un agradecimiento especial a los profesores Andrés Duque, Juan Mauricio Castaño y Apolinar Figueroa, por sus importantes aportes.

A todas las personas que participaron directamente en la investigación: habitantes del Páramo Rabanal, profesionales que conformaron el panel de expertos, corporaciones autónomas regionales, principalmente Corpochivor por la información brindada y a la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de Samacá - ASUSA.

A María Fernanda Bastidas y Lina Rocio Viasús, ingenieras geógrafas y ambientales de la U.D.C.A, por su asesoría en el análisis de coberturas y a Stefany Liconá, M.Sc en Ciencias Ambientales, por su contribución con el desarrollo del proyecto de barbechos en el Páramo Rabanal.

TABLA DE CONTENIDO

No.	Tema	Pagina
	RESUMEN	10
	ABSTRACT	12
1.	INTRODUCCION	14
2.	OBJETIVOS E HIPOTESIS DEL ESTUDIO	20
2.1.	Objetivo General	20
2.2.	Objetivos específicos	20
2.3.	Hipótesis	20
3.	MARCO TEORICO	22
3.1.	Cambio climático	22
3.2.	Vulnerabilidad al cambio climático	22
3.3.	Páramos, características generales e importancia.....	26
4.	CAPITULO 1. ANALISIS DE TENDENCIAS DE VARIABLES CLIMATICAS EN EL PARAMO RABANAL, REGION CUNDIBOYACENSE – COLOMBIA	30
4.1.	Introducción	30
4.1.1.	Cambio climático y páramos	30
4.2.	Materiales y métodos	33
4.3.	Resultados	35
4.4.	Discusión	41
4.5.	Conclusiones	45
4.6.	Referencias Bibliográficas	46
5.	CAPITULO 2. ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y ACTUAL DEL USO DEL SUELO EN EL PÁRAMO RABANAL	51
5.1.	Introducción	50
5.2.	Materiales y métodos	54
5.2.1.	Area de estudio	54
5.3.	Resultados	57
5.3.1.	Representaciones sociales	61
5.4.	Discusión	63
5.5.	Conclusiones	67
5.6.	Referencias Bibliográficas	67
6.	CAPITULO 3. VULNERABILIDAD DEL SOCIOECOSISTEMA PARAMO RABANAL	72
6.1.	Introducción	72

6.1.1.	Vulnerabilidad basada en el enfoque de riesgo a desastres	74
6.1.2.	Vulnerabilidad basada en el enfoque de la ecología política y la política económica	75
6.1.3	Vulnerabilidad basada en el enfoque Integrado, visión integradora o de territorio	75
6.2	Materiales y métodos	76
6.3	Resultados	79
6.3.1.	Exposición	82
6.3.2.	Sensibilidad	84
6.3.3.	Capacidad de adaptación	86
6.3.4.	Evaluación de la Vulnerabilidad	91
6.3.5.	Zonificación de la vulnerabilidad en el Páramo Rabanal.	94
6.4.	Discusión de resultados	96
6.5.	Conclusiones	100
6.6.	Referencias bibliográficas	101
7.	CAPITULO 4. REFLEXIONES FINALES	106
7.1.	Referencias bibliográficas	112
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
9	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	115
10.	ANEXOS	130

LISTA DE FIGURAS

Figura	Tema	Página
Figura 4.1	Localización del Páramo Rabanal en el contexto regional	34
Figura 4.2	Variación de los valores máximos de temperatura registrado por la Estación Villa del Carmen. A: variación mensual B: Variación anual	38
Figura 4.3	Variación de los valores máximos de temperatura registrados por la Estación UPTC. A: variación mensual B: Variación anual	38
Figura 4.4	Variación de los valores anuales de precipitación registrados por la Estación Ventaquemada. A: variación mensual B: Variación anual	39
Figura 4.5	Variación de los valores anuales de días de precipitación registrados por la Estación Ventaquemada. A: variación mensual B: Variación anual	40
Figura 4.6	Variación de los valores anuales de días de precipitación registrados por la Estación Teatinos. A: variación mensual B: Variación anual	40
Figura 4.7	Variación de los valores medios de velocidad del viento registrados por la Estación Villa del Carmen. A: variación mensual B: Variación anual	41
Figura 5.1	Localización del área de estudio del área de estudio.	55
Figura 5.2	Coberturas de territorios agrícolas	58
Figura 5.3	Coberturas de bosques y áreas seminaturales	59
Figura 5.4	Coberturas de áreas húmedas y superficies de agua	60
Figura 5.5	Mapa temático de las representaciones sociales ...	62
Figura 6.1	Representación gráfica de la evaluación de factores	82
Figura 6.2	Representación gráfica de la evaluación de indicadores de exposición	84
Figura 6.3	Representación gráfica de la evaluación de indicadores de sensibilidad	86
Figura 6.4	Representación de los resultados obtenidos a través del sondeo realizado por expertos frente al componente capacidad de adaptación	87
Figura 6.5	Representación gráfica de la evaluación de indicadores de capacidad de adaptación	91

LISTA DE TABLAS

Tabla	Tema	Página
Tabla 4.1	Resultados de la prueba estadística de tendencia Mann-Kendall a partir de los datos de las estaciones meteorológicas localizadas en el Páramo Rabanal y zonas de influencia	37
Tabla 5.1	Cambio de coberturas del suelo (ha), en el Páramo de Rabanal	57
Tabla 6.1	Valoración y ponderación de componentes de la vulnerabilidad al cambio climático	81
Tabla 6.2	Valoración y ponderación de indicadores específicos para exposición	84
Tabla 6.3	Valoración y ponderación de indicadores específicos para sensibilidad	85
Tabla 6.4	Valoración y ponderación de indicadores específicos para capacidad de adaptación	88
Tabla 6.5	Información sobre distribución política del Páramo Rabal y algunas características socioeconómicas de los habitantes del páramo	89
Tabla 6.6	Rangos establecidos para la interpretación de los valores de vulnerabilidad obtenidos	93
Tabla 6.7	Zonas representativas del Páramo Rabanal de acuerdo con la distribución por coberturas e índices de vulnerabilidad obtenidos por zona	94

LISTA DE ANEXOS

Anexo	Tema	Página
Anexo 1.	Mapa de cobertura de 1980	130
Anexo 2.	Mapa de Cobertura de 2001	131
Anexo 3.	Mapa de cobertura de 2016	132
Anexo 4.	Definición de indicadores	133

RESUMEN

El Páramo Rabanal, localizado en la zona central de la región andina colombiana, es estratégico principalmente por su regulación hidrológica que contribuye con el abastecimiento de acueductos, la generación de energía eléctrica y porque irriga más de 1.000.000 hectáreas de sistemas productivos. Este páramo aporta agua a una población aproximada de 300.000 habitantes para uso doméstico, abastece a una hidroeléctrica, un distrito de riego y a la actividad minera por extracción de carbón y producción de coque. Se estima que la demanda hídrica para abastecer estas actividades es de 1.115 l/s. Sin embargo, es un ecosistema frágil que puede verse afectado por los efectos del cambio climático, fenómeno global que está ampliamente evidenciado y documentado y es por esta razón que se desarrolló la presente investigación con el objetivo de evaluar la vulnerabilidad al cambio climático del socioecosistema Páramo Rabanal, mediante la definición de indicadores biofísicos, sociales y económicos asociados a factores que definen la vulnerabilidad como son la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación. Para el desarrollo de la investigación se asume al páramo como un sistema socioecológico y, se parte del enfoque integrado, que considera que el fenómeno afecta un sistema que está conformado por una zona geográfica, en la cual las personas y la naturaleza interactúan recíprocamente. La investigación se abordó desde 3 componentes fundamentales para el Páramo Rabanal que son: análisis de tendencias de variables climáticas; análisis retrospectivo y actual del uso del suelo y vulnerabilidad del socioecosistema. Se establecieron los indicadores y la calificación correspondiente para determinar la vulnerabilidad del socioecosistema Páramo Rabanal y también los niveles de vulnerabilidad en las zonas más representativas, como la zona dedicada a producción agrícola, la zona de páramo en estado de conservación, la zona de plantaciones forestales y la zona minera, que es la

que presenta la menor cobertura con un 0,1%; sin embargo, es la que mayor índice de vulnerabilidad con respecto a las demás zonas. Al finalizar se hacen unas reflexiones finales sobre el Páramo Rabanal y la vulnerabilidad que presenta a efectos de cambio climático, efectos que se han amplificado por las actividades productivas y extractivas. De la investigación se concluye que el Páramo Rabanal es vulnerable por efectos del cambio climático y por las actividades productivas que generan impacto; sin embargo, de acuerdo con lo evaluado, no se ha llegado al punto de no retorno y es posible establecer medidas de mitigación y adaptación, para lo cual se necesita del compromiso y la decisión política que tenga en cuenta los diferentes componentes y contextos a nivel local, regional y nacional.

Palabras clave: Exposición, Sensibilidad, Capacidad de Adaptación, Indicadores.

ABSTRACT

The Rabanal Páramo, located in the central zone of the Colombian Andean region, is strategic mainly due to its hydrological regulation as a source of drinking water supply for 300.000 people, hydropower, irrigation of approximately 1,000,000 hectares of productive systems, coal mining and coke production. The demand for water to supply these activities is estimated at 1.115 l/s. it is a fragile ecosystem that can be affected by the effects of climate change, a global phenomenon that is widely evidenced and documented. This research was carried out with the aim of assessing the vulnerability to climate change of the socioecosystem Paramo Rabanal, by defining biophysical, social and economic indicators associated with factors that define vulnerability such as exposure, sensitivity and adaptive capacity. For the development of the research, the paramo is considered as a socio-ecological system and is taken as a reference the integrated approach, phenomenon affects a system that is made up of a geographical area in which people and nature interact reciprocally. The research was approached from 3 fundamental components for the Rabanal Páramo, which are: analysis of trends in climatic variables; retrospective and current analysis of land use and vulnerability of the socio-ecosystem. Indicators and the evaluation values were established to determine the vulnerability of the socio-ecosystem Páramo Rabanal and also the levels of vulnerability in the most representative areas, such as the area dedicated to agricultural production, the area of paramo in a state of conservation, the area of forest plantations and the mining area, which is the one with the lowest coverage with 0.1%, however present the highest vulnerability index with respect to the other areas. Some reflections are made of the Rabanal Páramo and the vulnerability it presents to the effects of climate change, effects that have been amplified by productive and extractive activities. The investigation concludes that the Paramo Rabanal is vulnerable to the effects of climate change and productive systems impact; however, according to what was

evaluated, the point of no return has not been reached and it is possible to establish mitigation and adaptation measures, for which commitment and political decision are needed that consider the different components and contexts.

Key Word: Exposure, Sensitivity, Adaptation Capacity, Indicators.

INTRODUCCION

Según Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático - IPCC (2007) hay evidencias claras sobre el cambio climático, como los incrementos de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado y el aumento en el nivel del mar, el incremento de las precipitaciones especialmente en América y en su informe de síntesis (IPCC 2014) se menciona, resaltando que lo hace con un 95% de certeza, que la actividad humana es la causa principal del calentamiento global y concluye que entre mayor sea la perturbación por la actividad humana en el clima, mayores serán los riesgos de impactos graves e irreversibles en las personas y ecosistemas.

Para el caso particular de los ecosistemas Altoandinos como es el caso de los páramos, a diferencia de lo expuesto antes, las evidencias no son claras sobre el efecto del cambio climático, a pesar de la importancia que representan como ecosistemas estratégicos fundamentales en la región. Las características de los páramos, incluida su heterogeneidad, es un reflejo de la influencia de diversos procesos abióticos (geología, altitud, suelos, clima), bióticos (biogeográficos) y antrópicos (impacto humano) (Hofstede et al., 2014).

Existen trabajos para la zona andina, que abordan el tema; por ejemplo, Van Der Hammen (2002) y Tovar et al. (2013), con base en observaciones y pronósticos, muestran una tendencia de desplazamiento de los biomas con la elevación, bajo condiciones climáticas futuras. Este desplazamiento según lo anunció hace casi dos décadas Van der Hammen (2002), podría

ocasionar la fragmentación y posiblemente desaparición de muchas formaciones vegetales de páramo.

Para Hofstede et al. (2014) las evidencias del cambio climático en los Andes son muy variables. Si bien el aumento de la temperatura es evidente, la información cuantitativa (cuantos grados sube) y datos del comportamiento de los diferentes aspectos de la temperatura (mínima/ máxima, promedio, diferencias diarias, variabilidad estacional) son mucho más escasos y no son uniformes, en cuanto a precipitación es mucho menos uniforme que respecto a la temperatura. En general hay tendencias comprobadas a nivel local (Pabón 2012, Rojas et al., 2010, Cantor 2011, Ruíz et al., 2008, Buytaert et al., 2006 y Pabón y Hurtado 2002), pero como lo mencionan Tovar, et al. (2013) son tan diversas las respuestas en los Andes tropicales que no hay claridad en este aspecto. Para Murtinho et al. (2013) disminuye la capacidad de almacenar e infiltrar agua y resalta que los páramos, bosques de alta montaña y bosques nublados, son reguladores hidrológicos terrestres.

Celleri & Feyen (2009) mencionan que, con el aumento de la temperatura, especies sensibles están obligadas a migrar de 150 a 200 metros más arriba. Además, el incremento de temperatura aumenta la zona de influencia de plagas y vectores, así como su capacidad de adaptación, que les permite ampliar su rango de propagación a más regiones. Postigo (2013) establece que el cambio climático está transformando el sistema socioecológico Altoandino, las franjas altitudinales determinadas por sus características climáticas y ecológicas se desplazan a mayores altitudes.

Los ecosistemas Altoandinos, específicamente los páramos, son importantes por la regulación del ciclo hidrológico, la biodiversidad, el paisaje y la captura de CO₂. Su importancia radica en que son ecosistemas que han desarrollado un gran potencial para interceptar, almacenar y regular aguas superficiales y subterráneas; son la base y el principal regulador del sistema hidrológico terrestre del neotrópico, específicamente del norte de los Andes (Gonzáles &

Cárdenas 1995 y Castaño-Uribe 2002). De los servicios ambientales que proveen los páramos, el agua es el principal elemento de interés para las comunidades humanas, especialmente para las que se establecen a lo largo de cualquier gradiente de montaña en Colombia (Parra-S et al., 2002, Guhl 1982 y Gonzáles & Cárdenas 1995).

Los páramos ocupan el 1,7% de territorio colombiano y se distribuyen en 36 complejos de los cuales 34 se encuentran delimitados y ocupan un área de 1.932.395 ha. Suministran agua al 70% de la población del país; abastecen acueductos en cientos de municipios y veredas, alimentan también embalses para generación de energía y acueductos y además proveen de agua para la operación de distritos de riego de diversas regiones (Hofstede et al., 2014; Greenpeace 2013).

Esta investigación se desarrolló en el Páramo Rabanal que tiene una extensión de 16.536 ha. donde se encuentran establecidos sistemas de producción agrícola y además es estratégico para la región para generación de energía hidroeléctrica, abastece al embalse La Esmeralda de la Central Hidroeléctrica de Chivor y acueductos locales como el embalse de Teatinos, que suministra agua al acueducto de la ciudad de Tunja (Ortiz & Reyes 2009). Es importante anotar que el área de estudio establecida coincide con la superficie que se encuentra por encima de los 3.000 msnm, considerada como páramo, cuyo sistema hídrico irriga más de 1.000.000 ha y suministra agua a una población estimada en 300.000 habitantes; en su territorio se encuentran microcuencas y embalses que abastecen acueductos y distritos de riegos y es una zona en donde se presentan las dinámicas socioeconómicas de usos y apropiación de los recursos naturales (IAvH et al., 2008). La demanda hídrica del páramo Rabanal está estimada en 1,115 l/s (Espinosa y Espinosa 2017)

El Páramo Rabanal, hace parte del Sistema Rabanal que corresponde a un macizo montañoso ubicado en la Cordillera Oriental colombiana. Los

municipios con jurisdicción en este Páramo son Ventaquemada, Samacá y Ráquira en el departamento de Boyacá y Villapinzón, Lenguaque y Guachetá en el Departamento de Cundinamarca.

Es importante anotar que, en el Páramo Rabanal, la actividad minera de carbón, principalmente para la producción de coque, ha tenido un auge muy importante en los últimos años y se observa, a partir del año 2000, un aumento constante en la producción nacional por las dinámicas del mercado internacional del carbón (Moreno 2018). El Instituto Alexander von Humboldt y las corporaciones autónomas regionales alertaban sobre los efectos muy evidentes en las características del páramo debido a que la asignación de títulos mineros era cada vez mayor; actividad que ya se constituía en una gran amenaza para estos ecosistemas estratégicos (IAvH et al., 2008). Según la Agencia Nacional de Minería (2015) en el año 2014 la producción de carbón en los municipios con jurisdicción en el Páramo Rabanal fue del orden de 1.394.125 toneladas.

Para Hofstede et al. (2014) el cambio climático en el páramo se evidencia, específicamente sobre los efectos en la biodiversidad, la hidrología, la agricultura y las comunidades humanas; sin embargo, hay variación local y es difícil describir con certeza el modo que el cambio se manifiesta en una zona específica del páramo. Investigaciones han mostrado, por ejemplo, el aumento de temperatura, pero no hay tendencias claras sobre precipitación. Según De Bièvre et al. (2012) cuando no hay características del clima asociadas a cambio climático, los análisis resultan especulativos.

Por lo anterior, el INECC - PNUD (2013) recomienda reconocer la importancia de la vulnerabilidad como elemento fundamental para estimar los potenciales impactos del cambio climático. La misma puede ser diferencial según las características que se presentan a través del territorio. Se evidencia también que hay vacíos de información específicamente por las diferencias que se dan en los procesos socioecológicos entre páramos y

dentro de los mismos, cuando son páramos extensos (mayores a 10.000 ha), como es el caso de Rabanal. Por lo tanto, se requieren estudios a nivel local o regional de vulnerabilidad del sistema socioecológico al fenómeno del cambio climático, como base para establecer medidas de mitigación y adaptación según el nivel de vulnerabilidad que se presenten.

En el Páramo Rabanal es evidente la falta de gestión y decisión política para determinar su vulnerabilidad a efectos del cambio climático que sirva de base para diseñar y plantear medidas de adaptación, como se pudo constatar en la revisión de los planes de desarrollo de los municipios de Ventaquemada (2016), Ráquira (2016) y Samacá (2012), que corresponden a los que más territorio del páramo hacen parte de su jurisdicción. La ausencia de gestión puede estar relacionada posiblemente con el enfoque que ha tenido la investigación sobre cambio climático dominada, como lo expresa Lampis (2013), por las ciencias naturales basada en la modelación de escenarios. Esto limita el concepto de impacto de cambio global, sin ser claro su reconocimiento como un problema que concierne a los sistemas socioambientales sobre “*una ventana de diálogo*” entre los científicos de las diferentes disciplinas y de saberes por el reconocimiento que tienen las personas de los fenómenos y su deseo de participar en la solución de estos.

La propuesta investigativa se aborda desde las relaciones humano - ecosistema, el páramo como sistema socioecológico (Berkes & Folke, 1998 y Holling 2001) y estratégico por la regulación hidrológica, la biodiversidad, el paisaje, la provisión de alimentos; la transformación en la práctica de la apropiación del agua y el páramo como un espacio simbólico. En los sistemas socioecológicos las interacciones se dan en doble vía, las intervenciones y actividades culturales, políticas, sociales y económicas producen transformaciones en el ambiente (ejemplo actividades agrícolas y mineras) y por el otro lado, las dinámicas de los ecosistemas tienen influencia en la cultura, las relaciones de poder y actividades económicas de los seres humanos (ejemplo el cambio climático) y entender, la dinámica de

un sistema socioecológico, implica entender sus cambios de estado y de régimen (Salas-Zapata et al., 2012).

Para el planteamiento metodológico se toma como referencia el enfoque de territorio propuesto por Rojas et al. (2012), en el cual se asume territorio como el espacio donde se construyen las relaciones sociales y dónde se manifiestan las dinámicas de interacción con la naturaleza, que coincide con el enfoque integrado, documentado por Franco et al. (2011), Bruno et al. (2012), Folke et al. (2002) y Lampis (2013). Para la identificación del territorio se hace la delimitación del sistema socioecológico y se consideran los espacios geográficos y el sistema social (Urquiza y Cadenas 2015).

De otra parte, uno de los principales factores que caracteriza los sistemas socioecológicos es su vulnerabilidad que está asociada a la capacidad de repuesta (capacidad de adaptación) de los sistemas para enfrentar los efectos del cambio climático, capacidad que depende de las características y condiciones del sistema (Azocar de la Cruz 2018) y debido a que la vulnerabilidad es un concepto que expresa la compleja interacción de los diferentes factores que determinan la susceptibilidad de un sistema a los impactos producidos por el cambio climático, no es una característica medible y por lo tanto, se sugiere utilizar el término evaluar (GIZ (2017), recomendación que se asume en el desarrollo de la presente investigación.

2. OBJETIVOS E HIPOTESIS DEL ESTUDIO

2.1 Objetivo General

Analizar la vulnerabilidad al cambio climático del socioecosistema Páramo Rabanal, región Cundiboyacense, Colombia.

2.2 Objetivos Específicos

Determinar la exposición a través del análisis de patrones del clima como temperatura y precipitación, como indicadores de los efectos ocasionados por el cambio climático, en diferentes zonas del Páramo Rabanal, en un periodo de tiempo de aproximadamente 30 años.

Establecer el grado de susceptibilidad de los elementos que constituyen el sistema socioambiental ante el cambio climático, a través de la definición de indicadores en las dimensiones biofísica, social y económica, en una escala de tiempo, en diferentes zonas del Páramo Rabanal.

Evaluar la capacidad socioambiental, en las dimensiones biofísica, social y económica del sistema, a partir de la definición y análisis de indicadores en zonas del Páramo Rabanal, para reducir los impactos del cambio climático.

2.3 Hipótesis

El Páramo Rabanal es un sistema socioecológico complejo cuya estabilidad depende de la variabilidad ambiental natural y de las actividades humanas que, en conjunto, por las dinámicas socioeconómicas de usos y apropiación de los recursos naturales, lo hacen vulnerable. La falta de conocimiento, ausencia de gestión y políticas para afrontar los efectos del cambio climático, incluido en éste la variabilidad climática en el Páramo Rabanal, aumentan la vulnerabilidad a este fenómeno global.

Se parte que los socioecosistemas son sistemas complejos debido a la relación de los seres humanos con estos que se presenta de múltiples maneras, a diferentes escalas temporales y escalas espaciales. Como lo expresan Ortega, et al. (2014) en los socioecosistemas, los sistemas sociales humanos son parte constitutiva e indisoluble del entorno natural.

3. MARCO TEORICO

3.1 Cambio climático

El cambio climático se refiere al cambio en el estado del clima identificable a raíz de la variación en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado establecido generalmente en decenios o periodos mayores; actualmente es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad observada a lo largo de periodos de tiempo comparables, especialmente en los dos últimos siglos; hace referencia a interacciones humanas y variabilidad climática a cambios naturales (ONU, 1992; IPCC, 2007; Palacio, 2013). El cambio climático implica tendencias promedio, cuyas consecuencias se reflejan a escalas temporales relativamente amplias (ejemplo: décadas) y tendencias de la variabilidad que pueden tener efectos a escalas menores (ejemplo: años, si se consideran los ciclos anuales de las fluctuaciones estacionales) (Lloret, 2012). Blanco y Fuenzalida (2013) establecen que el cambio climático es un fenómeno social, al menos desde cuatro dimensiones, como el origen antrópico, el efecto en las comunidades humanas, las formas de representación y las formas asociativas para enfrentarlo.

La complejidad del cambio climático es un reto para todos los campos del conocimiento, desde las ciencias de la tierra, ciencias naturales, ambientales, sociales y económicas y requiere soluciones integrales que incorporen ese conocimiento científico lo trasciendan e incluya múltiples actores (Chacón & Postigo, 2013). En otras palabras, debería abordarse desde la interdisciplinariedad que implica el reconocimiento, comprensión y empatía entre las disciplinas y las personas y se enriquezca del diálogo y la reciprocidad del trato de las posiciones disciplinares. Hacer interdisciplina es comprender las conexiones posibles en un entorno amplio del problema que

desafortunadamente ha estado entorpecido por las distancias epistemológicas (Torres 2012).

Para abordar el problema de los efectos del cambio climático, es fundamental tener en cuenta, no solamente el diálogo entre disciplinas, sino el diálogo de saberes, que como lo expresa Leff (2005), produce nuevas significaciones sociales y según Gonzáles-Gaudiano (2012), es también una construcción social que depende del contexto sociocultural e histórico. Para Geary (2013) es importante, también el diálogo y la integración entre estado y sociedad civil.

En cuanto a cambios percibidos por la comunidad, identifican una mayor predictibilidad de las estaciones (húmedas o secas) que afecta la épocas de siembra y cosecha y se tiene claro que el espacio dejado por el páramo sería ocupado para cultivos y establecimiento de potreros; sin embargo es importante anotar que la gente tiende a percibir cambios y relacionarlos con el cambio climático, sin que haya una variación medible; los cambios pueden ser ocasionados por otras razones como deforestación, sequía de quebradas y siempre relacionan la menor pluviosidad al cambio climático (Hofstede et al., 2014).

3.2 Vulnerabilidad al cambio climático

El concepto de vulnerabilidad, a pesar de su gran uso y aparente claridad, tiene variados y complejos significados en el contexto de diferentes dimensiones: social, económica, ambiental, entre otras (Prieto-Rozo 2013). Para Pérez (2013) la vulnerabilidad es la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o pérdida por eventos naturales o de origen socioeconómico teniendo en cuenta las repercusiones en un sistema, así como la capacidad de adaptarse (FAO 2012).

Lampis (2013), establece que la vulnerabilidad incluye tanto la exposición como la sensibilidad y la resiliencia; Bruno et al. (2012) incluyen, en lugar de resiliencia, la capacidad de adaptación. Según Smith y Wandel (2006), la vulnerabilidad se define como el grado en el cual un sistema es susceptible a lesiones, daños y perjuicios.

Para Bruno et al. (2012) los sistemas vulnerables son sistemas complejos y dicha complejidad, de acuerdo a Postigo (2013), está dada por la multiplicidad de procesos que intervienen en las relaciones naturaleza sociedad que incluyen además los procesos históricos que expresan estas relaciones que han sucedido a lo largo del tiempo y para entender la complejidad, el dinamismo y la historia de la relación entre naturaleza sociedad se requiere de un marco analítico transdisciplinario, que trasciendan los enfoques disciplinarios y multidisciplinarios. Las sociedades pueden responder al cambio climático adaptándose a sus impactos; sin embargo, la capacidad de adaptación depende de circunstancias socioeconómicas, medioambientales y de la disponibilidad de información y tecnología (IPCC 2007). La vulnerabilidad describe un conjunto de condiciones de las personas o de los sistemas que derivan de sus contextos históricos, culturales, sociales, ambientales, políticos y económicos (IPCC 2012).

El grado de susceptibilidad de un sistema frente a efectos adversos del clima, está en función de la magnitud y fase de cambio, la sensibilidad y capacidad adaptativa y no está en función únicamente de los cambios en las variables climáticas (Bates et al., 2008). Pérez (2013) sugiere que se debe comprender la susceptibilidad o resistencia respecto a su problemática ambiental. Para Lampis (2013) la vulnerabilidad tiene que ver con el potencial de daño de un sistema por una amenaza climática. Cuanto mayor es la capacidad de adaptación menor es la vulnerabilidad del sistema (Bruno et al., 2012).

Para Franco et al. (2011) la vulnerabilidad está relacionada con los sistemas de gobernanza en un territorio, aspectos institucionales, sostenibilidad de los servicios ecosistémicos, niveles de pobreza o posibilidades que la sociedad tiene para satisfacer necesidades básicas en escenarios de cambio climático. Se percibe como resultado de un proceso, como elemento externo al sistema y como una característica interna que lo expone a la amenaza y lo hace susceptible al daño (Lampis (2013).

La adaptación al cambio climático corresponde a ajustes en los sistemas ecológicos y socioeconómicos en respuesta a impactos climáticos reales o previstos e incluye los ajustes en las personas, grupos e instituciones con el propósito de reducir la vulnerabilidad (Smith & Wendel 2006). Se sabe que la biodiversidad de ecosistemas de alta montaña es particularmente vulnerable al cambio climático, los organismos que constituyen tanto la flora como la fauna están adaptadas a condiciones extremas y tienen un rango de distribución limitado con barreras físicas para su eventual movimiento (Hofstede et al., 2014). Por lo tanto, la vulnerabilidad de acuerdo con INECC-PNUD (2013) debe analizarse como una condición sistémica, multifactorial, multisectorial, multitemporal y multiescalar; la vulnerabilidad es dinámica.

Franco et al. (2011) y Folke et al. (2002) mencionan que la vulnerabilidad es la otra cara de la resiliencia y definen la resiliencia como la magnitud que se puede absorber antes que el sistema cambie su estructura modificando variables y procesos que controlan el comportamiento. Cuando un sistema social o ecológico pierde la capacidad de recuperación se vuelve vulnerable a cambios que antes eran absorbidos. Para Lampis (2013) la resiliencia está relacionada con la perspectiva ecosistémica. Bajo este enfoque se trata de entender esta dinámica y predecir el umbral de cambio; establecer que tanta vulnerabilidad puede ser aceptable antes que el sistema ya no pueda absorber las perturbaciones (Franco et al., 2011). Habría que fortalecer la habilidad de los sistemas a diferentes escalas para absorber choques con el

menor daño posible y fortalecer sus capacidades de recuperarse o de adaptarse a nuevas condiciones (Lampis 2013).

3.3 Páramos, características generales e importancia

Los páramos son ecosistemas localizados en las cumbres de regiones tropicales de Sur América, Centroamérica, Asia, África y Oceanía, cuyos límites pueden variar según las diversas condiciones propias de las regiones donde se ubiquen (Morales-Betancourt y Estévez-Varón 2006). Otros autores, entre ellos, Díaz-Granados et al. (2005), dan una localización más específica y mencionan que los páramos son ecosistemas andinos que se encuentran entre los 3.000 y 4.800 msnm, ubicados en América Tropical entre las latitudes 8°N y 11°S.

El páramo, por su localización altitudinal y latitudinal, cercano al Ecuador, tiene un clima tropical de alta montaña. La radiación es constante durante todo el año, las temperaturas son cercanas a cero en la noche y en el día pueden llegar a los 20°C y la precipitación es frecuente y tiene variabilidad estacional (Buytaert et al., 2007).

Hay variaciones en la distribución de la precipitación, temperatura, luminosidad, duración de los días, luz, humedad relativa y vientos en cuanto a dirección y velocidad en respuesta a las condiciones orográficas características de la región Andina (Hofstede et al., 2014).

Las características climáticas que mejor definen el páramo son la estabilidad anual de la temperatura, una alta variación térmica diaria y variación de la precipitación determinada por la localización altitudinal y latitudinal del páramo. Se encuentran páramos considerados secos cuya precipitación anual puede estar alrededor de los 700 mm hasta los páramos húmedos con precipitaciones superiores a los 3.000 mm, que en algunos casos puede

llegar hasta los 6.000 mm. La variabilidad espacial de la precipitación está relacionada con la topografía y los aportes de humedad desde los océanos, la Amazonía y la Orinoquía (Díaz-Granados et al., 2005) y la influencia de las variaciones en la dirección y velocidad del viento (Buytaert et al., 2006).

Los páramos además de ser importantes por su biodiversidad, el paisaje, la captura de CO₂, la provisión de recursos naturales, la producción o el consumo y el ecoturismo, se constituyen en la base del sistema hídrico del neotrópico (González y Cárdenas, 1995). Los páramos almacenan y regulan los recursos hídricos de las cotas altas de los Andes y nutren las redes fluviales de sus territorios y son también espacios de producción con una carga histórica, cultural y política importante, en otras palabras, paisajes complejos (Serrano y Galárraga 2015). El agua representa el factor de mayor interés para las comunidades humanas, especialmente para las que se establecen a lo largo de la zona andina (Parra-S. et al., 2002), es importante para el riego de cultivos, uso doméstico e industrial; para embalses destinados a acueductos de cientos de municipios y veredas, distritos de riegos, o la generación de energía eléctrica, entre otros (Celleri & Feyen 2009 y Hofstede, 2014).

Varios estudios (Tovar et al., 2013, Postigo 2013, Celleri & Feyen 2009, Buytaert et al., 2006; van der Hammen 2002) establecen que, por efectos del cambio climático, se presenta una tendencia de desplazamiento de las diferentes zonas que conforman el páramo. Esto ocasionaría que las actividades antrópicas, principalmente agropecuarias, también asciendan ocasionando ampliación de la frontera agrícola. Sin embargo, a pesar de que se está generando información y, de alguna manera, hay acuerdo a nivel mundial sobre los efectos del cambio climático en todos los ecosistemas, incluidos los páramos, la incertidumbre es también grande y falta conocimiento sobre cuáles son y serán los efectos reales específicos de este fenómeno global. Es importante mencionar lo expuesto en el informe especial del IPCC (2019) en relación a que los riesgos relacionados con el

clima para los sistemas naturales y humanos son mayores con un calentamiento global de 1,5°C, riesgos que dependen de la magnitud y ritmo de calentamiento, ubicación geográfica, niveles de vulnerabilidad y opciones de mitigación y adaptación que se implementen en cada caso.

Para Guhl (1982), Gonzáles y Cárdenas (1995), Avellaneda (1998), Estupiñán (2001 y 2002) los páramos son las regiones más destruidas por la forma que se utiliza la tierra y mencionan la producción agrícola, introducción de pastos y especies forestales foráneas, utilización intensiva del recurso hídrico, contaminación de aguas, construcción de obras de infraestructura, extracción de suelos orgánicos y explotación minera, como los factores que más influyen. La región paramuna ha sido muy transformada; en algunas localidades, la vegetación original desapareció por el pastoreo y principalmente por el cultivo de la papa, aumentaron la degradación de estas áreas (Rangel-Ch, 2000 & Tovar et al., 2013). Dicha destrucción, inició hace más de 450 años, cuando los españoles acabaron con los sistemas de producción ancestral indígenas y no tuvieron en cuenta esa relación simbólica que tenían al considerar a los páramos también como lugares sagrados (Vargas-Ríos, 1998). La colonización española trajo como consecuencia la introducción de sistemas nuevos de apropiación de tierras, desplazamiento de poblaciones a mayores altitudes, introducción de especies foráneas como caballos, ganado vacuno y ovino que a través del tiempo produjeron una pérdida gradual de las formas tradicionales de producción para subsistencia (Morales-Betancourt & Estévez-Barón 2006).

Para Van der Hammen y Rangel (1997), la mayor parte de la zona montañosa se encuentra deforestada y muchas especies posiblemente se extinguieron. Moreno y Mora-Osejo (1994) le atribuyen al establecimiento de la agricultura, principalmente producción de papa, la destrucción de la vegetación original del páramo y que después del ciclo de cultivo, se presenta una sucesión secundaria de origen antrópico. Lambert (2003) menciona que la destrucción y mala gestión de los recursos naturales,

especialmente lo que respecta al recurso hídrico en general, contribuye a la escalada de pobreza y la inseguridad alimentaria.

Marquis et al. (2012) mencionan que la evolución económica y social, el aumento de los desastres naturales, el crecimiento demográfico la expansión agrícola y la urbanización comprometen la capacidad de los ecosistemas de montaña para proporcionar los bienes y servicios ambientales esenciales.

Investigaciones reportadas por Murtinho et al. (2013) sugieren que los páramos que tienen exceso de agua y un flujo sostenido por la alta precipitación promedio anual y al bajo consumo de agua natural (por la mayor viscosidad) se debe a la vegetación herbácea que dadas las bajas temperaturas, está representada por especies xerófilas y, destaca además, la capacidad que tienen estos suelos por su alta capacidad de almacenamiento y retención de agua que coincide con lo expresado por otros autores como Guhl (1982); Gonzáles y Cárdenas (1995); Castaño-Uribe (2002) y Serrano & Gálarraga (2015), que mencionan además, que los páramos son considerados como el principal regulador de agua del norte de los Andes, por las condiciones edáficas especiales que hace que cualquier cambio o alteración en el uso del suelo puede alterar el balance hídrico.

4. CAPITULO 1. ANALISIS DE TENDENCIAS DE VARIABLES CLIMATICAS EN EL PARAMO RABANAL, REGION CUNDIBOYACENSE – COLOMBIA.

4.1 Introducción

4.1.1 Cambio climático y paramos

En los informes del IPCC (2007, 2014) se presentan evidencias sobre el cambio climático, como los incrementos de la temperatura del aire y del océano (promedios mundiales), el deshielo generalizado y el aumento en el nivel del mar, el incremento de las precipitaciones pluviales especialmente en el oriente de América tanto del sur como del norte; sin embargo, las evidencias del cambio climático en los Andes son muy variables. Existen trabajos para la región andina, que abordan el tema. Tovar et al. (2013) y Buytaert et al. (2006) con base en observaciones y pronósticos, muestran una tendencia de desplazamiento de los biomas con la elevación, en escenarios climáticos futuros, Por su parte, Van der Hammen (2002) pronostica que si la tendencia actual de cambio climático continúa los próximos 50 años con un ascenso de 400 m de las comunidades vegetales, significaría la desaparición del superpáramo en las áreas localizadas por debajo de los 4.600 m, ocasionando que las otras áreas se desplacen hacia arriba en detrimento del área de páramo.

Estos desplazamientos podrían dificultar la sobrevivencia de muchas especies e incluso llevar a extinciones por la fragmentación y desaparición de formaciones vegetales de páramo. Celleri y Feyen (2009) mencionan que, con el aumento de la temperatura, especies sensibles están obligadas a migrar de 150 a 200 metros más arriba. Adicional a lo anterior, el incremento de temperatura aumenta la zona de influencia de plagas y vectores como su capacidad de adaptación que les permite ampliar su rango de propagación a

más regiones (Van der Hammen (2002). El cambio climático está transformando el sistema socioecológico altoandino, los pisos ecológicos que corresponden a las franjas altitudinales determinadas por sus características climáticas y ecológicas se desplazan a mayores altitudes (Postigo 2013).

Pabón y Hurtado (2002) aseguran que en el territorio colombiano se han presentado variaciones de 0,1-0,2 °C por decenio en los últimos treinta años, tendencias que pueden estar afectando a los páramos. En la primera Comunicación de Colombia, NC1- de 2002, se sugiere prospectivamente, para el año 2050, un aumento de 1 a 2°C en la temperatura media anual de todo el país, incluyendo los ecosistemas de alta montaña y, variaciones de precipitación media anual, de alrededor de 15% (Ruíz et al., 2008). Por su parte, Gómez-Sánchez (2002) estima que los efectos del cambio climático afectarán los páramos secos principalmente y que las actividades antrópicas como la agricultura influirán en la degradación de los suelos y del ecosistema en general debido a que se afectarán los ciclos de los biogeolementos y se generarán problemas de desestabilización de vertientes. En este sentido es importante mencionar a Rangel-Ch (2018) quien establece que la influencia de procesos climáticos ha dado origen a la clasificación bioclimática del páramo en 6 clases: páramos secos (precipitación anual entre 624 mm y 1.196 mm), semihúmedos (1.197 mm a 1.770 mm), húmedos (1.771 mm a 2.344 mm), muy húmedos (2.345 mm a 2.918 mm), superhúmedos (2.919 mm a 3.492 mm) y superhúmedos pluviales (mayor a 3.500 mm).

Los ecosistemas de alta montaña son uno de los ambientes más sensibles a cambios en las condiciones climáticas que se producen a escalas globales, regionales y locales (Ruíz et al., 2008). Si bien, el aumento de la temperatura es evidente, la información cuantitativa (cuantos grados sube) a partir de los datos reportados por las estaciones meteorológicas ubicadas en el piso térmico frío y páramos y datos del comportamiento de los diferentes

aspectos de la temperatura (mínima/ máxima, promedio, diferencias diarias, variabilidad estacional) son escasos. En cuanto a la precipitación hay la mayor la incertidumbre. Respecto a la temperatura; hay unas tendencias comprobadas a nivel local, pero no para la región Andina y tampoco han contribuido considerablemente los modelos matemáticos para simular procesos y efectos del cambio climático (Hofstede et al., 2014). Por su parte, Ruíz et al. (2008) comparando los reportes de estaciones meteorológicas localizadas en diferentes zonas, encontraron que las tasas de aumento en la temperatura ambiente de la alta montaña, fueron significativamente más altas que las observadas en tierras bajas.

Para Buytaert et al. (2007) los análisis de la precipitación mensual a largo plazo, muestran fuertes variaciones en el almacenamiento de agua que se pueden deber a pequeñas tendencias estacionales.

Como se mencionó antes, el cambio climático en el páramo es evidente y está documentado; sin embargo, hay mucha variación local y es difícil describir con certeza el modo que el cambio se manifiesta en un lugar específico del páramo (Hofstede et al., 2014). Uno de los problemas para el análisis de las series históricas climatológicas es la falta de continuidad en los datos a largo plazo por la escasez de estaciones climatológicas en zonas de páramo y, cuando las hay, la falta de resolución de la información y problemas en el registro de datos por la calidad y mantenimiento de los instrumentos (Buytaert et al., 2007). Escasez de conjuntos de datos de largo alcance limitan el conocimiento, esto sumado a la compleja topografía, vegetación y suelo y principalmente cambios temporales en los parámetros climáticos que se presentan en estos ecosistemas (Buytaert et al., 2006).

En una investigación desarrollada en páramos de Cundinamarca y Boyacá en Colombia, Buytaert et al. (2006) encontraron que entre 1970 a 1990 la temperatura media aumentó 1°C en Páramos de Cundinamarca y hasta 1,9°C en páramos de Boyacá. En este mismo lapso, se observó una

disminución en la precipitación mensual de 10 mm, disminución que se ha atribuido a la deforestación generalizada en las laderas de los andes y posiblemente por el fenómeno del Niño (ENOS) que provoca déficit de precipitaciones en las áreas montañosas.

Asumiendo que las especies propias del páramo Andino son susceptibles los cambios de condiciones por los efectos del cambio climático, los impactos producidos por estos efectos, según Adger (2006) aumentarán sustancialmente las cargas sobre las poblaciones que son vulnerables a los extremos climáticos y soportarán el impacto de los cambios presentados.

Es muy importante destacar el papel del suelo del páramo, que por sus condiciones ambientales en evolución, tiene un contenido alto de materia orgánica, pero que es fácilmente degradable si se cambia su uso por ejemplo a cultivos (Serrano & Galárraga 2015). La conversión en el uso del suelo puede alterar los climas regionales a través de los efectos que ejerce sobre la radiación neta, la división de energía en calor sensible y latente y la separación de la precipitación en agua del suelo, evapotranspiración y escorrentía (Foley et al., 2005).

4.2 Materiales y métodos

El Complejo Páramo Rabanal – Río Bogotá hace parte de los 36 complejos de páramo establecidos en Colombia. Se localiza en la zona central de la Cordillera Oriental, entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, en una altitud comprendida entre los 3.200 y 3.600 msnm (Figura 4.1). Tiene una extensión de aproximadamente 24.650 ha. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2016). El área de estudio corresponde específicamente al Páramo Rabanal, con un área de 17.630 ha; de las cuales el 35,73% corresponde a Páramo sin intervención y el 64,27% a páramo con algún nivel de intervención representado por la presencia de zonas agrícolas, plantaciones de pino, zonas de extracción de carbón, producción de coque y obras de infraestructura, entre otras.

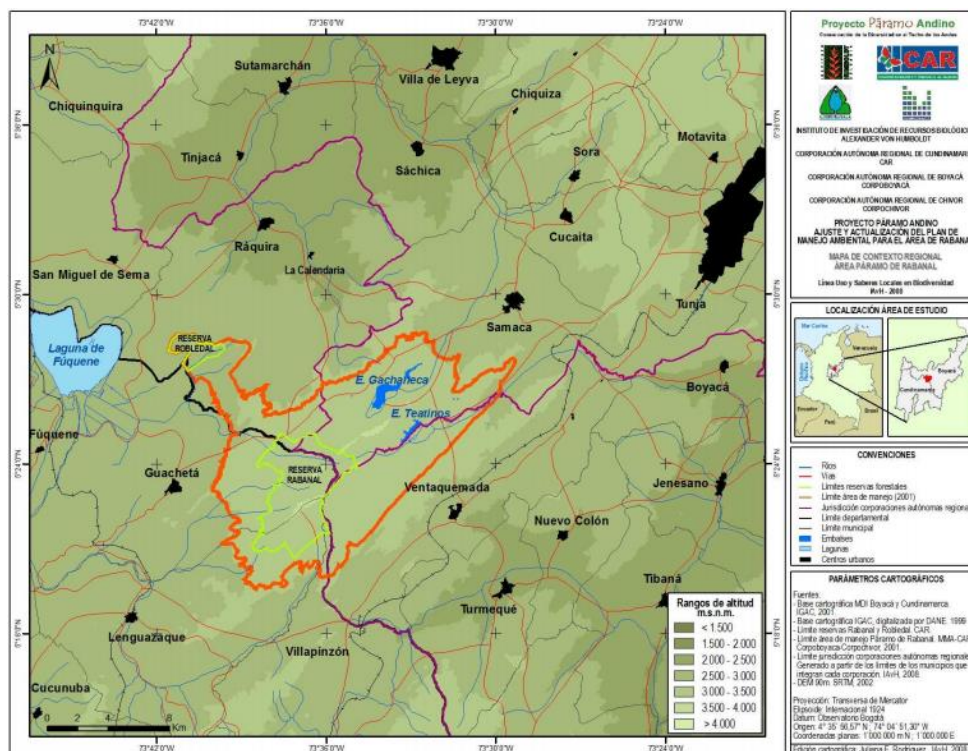


Figura 4.1 Localización del Páramo Rabanal en el contexto regional. Recuperado de: Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Corporación Autónoma regional de Boyacá (CORPOBOYACA), Corporación Autónoma de Chivor (CORPOCHIVOR). 2008. Estudio sobre el estado actual del Macizo del Páramo Rabanal. Bogotá.

Para el desarrollo metodológico se tomó en cuenta lo expresado por Guillaumont y Simonet (2011) en el sentido que el cambio climático se refleja en el cambio de los valores medios de las variables climáticas como es la temperatura y la precipitación, ocasionados a su vez por cambios relacionados en la inestabilidad de estas variables que generan choques ambientales, entre ellas, sequías, inundaciones, tormentas.

Se revisó y procesó la información de 5 estaciones meteorológicas administradas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, IDEAM, ente oficial encargado de producir la información hidrológica, meteorológica y ambiental en Colombia. Se tuvo en cuenta la disponibilidad de datos de temperatura, precipitación y en algunos casos velocidad del viento en el periodo comprendido entre 1968 y 2015.

Se analizaron valores mensuales multianuales de temperaturas máximas y mínimas, valores mensuales multianuales de precipitación y número de días mensuales de lluvias. Para el caso de velocidad del viento, valores medios mensuales multianuales. Se consideraron rangos de 12 meses y se descartaron los meses que no presentaron datos.

El análisis de las tendencias de clima para el Páramo Rabanal, se realizó mediante la Prueba de Tendencia de Mann-Kendall, prueba no-paramétrica basada en rangos de datos y el método de Sen para determinar la magnitud de la tendencia (Minaya-Maldonado 2016, Ruíz 2013, Rojas et al., 2012, Cantor 2011). Los datos de cada estación seleccionada se organizaron en periodos de 12 meses para correr la prueba de tendencia.

Para la interpretación de los datos se asume que la hipótesis nula, H_0 , no existe tendencia en la serie y la hipótesis alterna, H_a , existe tendencia en la serie. Cuando el valor p calculado es menor que el nivel de significancia ($p=0.05$) se rechaza la H_0 y se acepta H_a . El signo del valor de Tau de Kendal obtenido determina si la tendencia es positiva o negativa.

4.3 Resultados

Los datos reportados por las estaciones Vila del Carmen (39 años) y UPTC (47 años), muestran tendencias positivas altamente significativas ($p<0.05$) en cuanto a temperaturas máximas, con incrementos estimados de 0.015 y 0.033 respectivamente para periodos considerados de 12 meses. Esto significaría un incremento en promedio del orden de 0.15 °C y 0.33 °C por década, en 43 años (Tabla 4.1).

Con respecto a los valores de temperaturas mínimas, 3 estaciones presentan tendencias positivas altamente significativas, ($p < 0,05$), Villa del Carmen, UPTC y Villa Luisa, con incrementos estimados de 0.012 a 0.032 para periodos de 12 meses. Esto significaría un incremento de 0.12°C a 0.32°C por década, lo cual coincide con el rango reportado para temperaturas máximas. Es importante mencionar que estas estaciones reportan datos en promedio de 38 años.

La estación Ventaquemada (59 años) fue la única que presentó una tendencia negativa y altamente significativa ($p < 0,05$) en precipitación mensual multianual, en el orden de 0.42 mm por año, que significa una disminución estimada de 4.2 mm por década.

Adicionalmente, se analizó lo correspondiente a días de precipitación, en este caso en las 3 estaciones analizadas, dos presentaron tendencias. Teatinos, con registro de 24 años, presenta una tendencia negativa, altamente significativa y la Estación Ventaquemada (57 años), tendencia positiva, en este caso la tendencia es de 0,03 días por década.

Los datos de velocidad del viento de la estación Villa del Carmen, presentaron una tendencia positiva y estadísticamente significativa ($p < 0.05$) del orden de 0.25 m/s por década.

Tabla 4.1 Resultados de la prueba estadística de tendencia Mann-Kendall a partir de los datos de las estaciones meteorológicas localizadas en el Páramo Rabanal y zonas de influencia.

PARAMETRO	ESTACION IDEAM	ALTITUD msnm	PERIODO	No. REGISTROS	EST-KENDALL	VALOR p	TENDENCIA (Nivel de significancia) *		ESTIMADOR DE SEN Serie de 12
							+	-	
TEMPERATURA MAXIMA	VILLA DEL CARMEN	2.600	1968 2015	464	0,071	0,017	**		0,0150
	UPTC	2.690	1965 2015	563	0,148	0,0001	***		0,0330
	VILLA LUISA	2.200	1984 2016	248	-0,053	0,1320			0,0130
TEMPERATURA MINIMA	VILLA DEL CARMEN	2.600	1968 2016	537	0,103	0,0003	***		0,0210
	UPTC	2.690	1965 2015	569	0,088	0,0010	***		0,0120
	VILLA LUISA	2.200	1984 2016	278	0,071	0,0540	**		0,0320
PRECIPITACION	VILLA DEL CARMEN	2.600	1969 2015	557	-0,003	0,455			0,2300
	VENTA QUEMADA	2.630	1935 2015	710	-0,067	0,005		***	-0,4180
	UPTC	2.690	1962 2016	647	0,038	0,920			0,0910
	VILLA LUISA	2.200	1982 2016	393	0,032	0,187			0,2270
	TEATINOS	3.250	1990 2015	287	-0,019	0,665			-0,0900
No. DIAS PRECIPITACION	VILLA DEL CARMEN	2.600	1969 2015	540	-0,032	0,148			-0,007
	VENTA QUEMADA	2.630	1935 2015	684	0,071	0,004	***		0,0
	TEATINOS	3.250	1990 2015	287	-0,075	0,044		**	-0,007
VELOCIDAD VIENTO	VILLA DEL CARMEN	2.600	1978 2013	230	0,087	0,040	**		0,025

*Nivel de significancia estadística: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$

En la figura 4.2 se presenta la variación mensual (A) y anual (B) de los valores máximos de temperatura para la estación Villa del Carmen. No se observa una tendencia lineal significativa ($p > 0,05$) de los valores anuales a diferencia de los valores mensuales. Sin embargo, se observan valores extremos en promedio cada 10 años; donde el mayor valor ($29,0^{\circ}\text{C}$) se registró en el año 2009. De acuerdo a este análisis, la temperatura ha incrementado en 45 años, $2,4^{\circ}\text{C}$, con respecto al primer dato reportado.

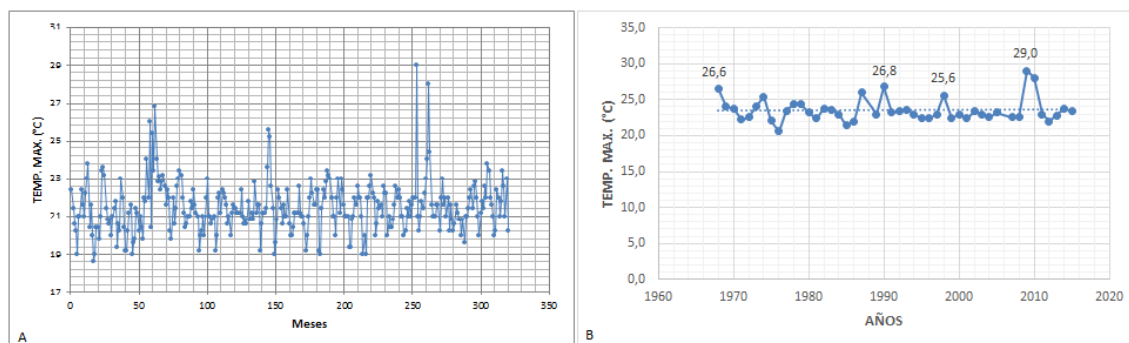


Figura 4.2 Variación de los valores máximos de temperatura registrado por la Estación Villa del Carmen. A: variación mensual B: Variación anual.

En la figura 4.3 se presenta la variación mensual (A) y anual (B) de los valores máximos de temperatura para la estación UPTC. No hay tendencia lineal significativa en los valores anuales. También se observan valores extremos en promedio cada 10 años; donde el mayor valor (25,5°C) se registró en 1.966. De acuerdo a este análisis, no ha habido incremento en aproximadamente 50 años, a diferencia de los valores encontrados en los análisis de tendencias mediante la prueba de Mann-Kendall y el método de Sen. Los años que registraron los mayores valores, después de 1966, fueron en el 2005 y 2010 con 25°C. Los valores registrados en esta estación son menores que los de la estación Villa el Carmen, debido a se encuentra a mayor altitud.

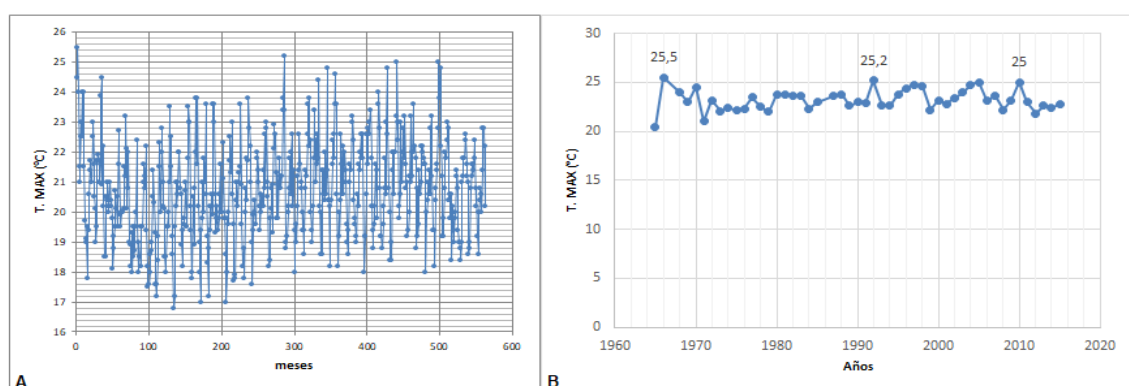


Figura 4.3 Variación de los valores máximos de temperatura registrados por la Estación UPTC. A: variación mensual B: Variación anual.

En la figura 4.4 se muestra la variación de los valores de precipitación registrados en la Estación Ventaquemada. Sin embargo, en este caso, de acuerdo al análisis anual (B) se presentó un año atípico, 1971, con una precipitación de 3.604 mm, que supera en más del doble a lo registrado en el 2011 que se conoció como el año de la “ola invernal”, con 1,383,3 mm, valores que además coinciden con los registrados por las otras estaciones de la región. Este valor alto pudo influir en el resultado de la prueba de tendencia de Mann-Kendall y el método de Sen, porque a pesar de la tendencia negativa los valores son bajos. Además, en 1972 y 1973 también se presentaron registros altos de precipitación. No es claro determinar la recurrencia de fenómenos extremos periódicos para la región, en lo que tiene que ver con precipitación.

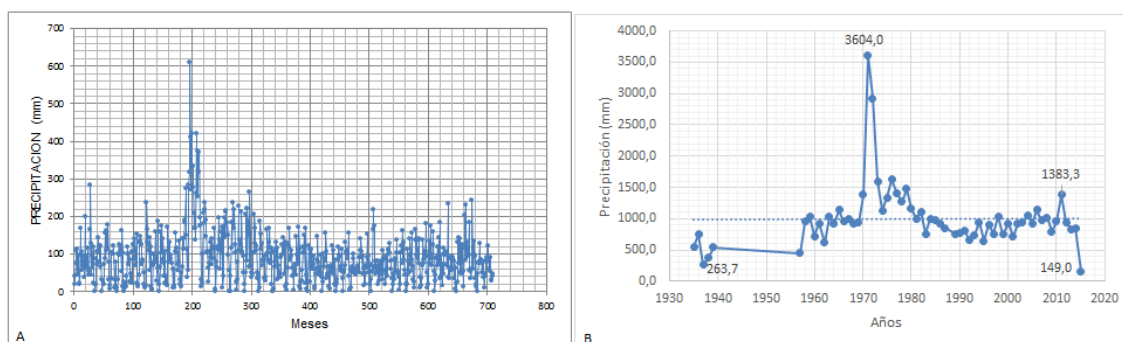


Figura 4.4 Variación de los valores anuales de precipitación registrados por la Estación Ventaquemada. A: variación mensual B: Variación anual.

La Estación Ventaquemada presentó tendencia positiva en el número de días de precipitación. En la figura 4.5 se presenta la variación mensual (A) y anual (B), para el periodo 1935 a 2015. El año 1971 presentó el mayor número de días lluvia 285, seguido del año 2011 con 232, que coincide con el análisis anterior. Los años 1960 y 2015 fueron los años que presentaron el menor número de días de precipitación. No se registra la recurrencia en el aumento de eventos extremos en las últimas décadas.

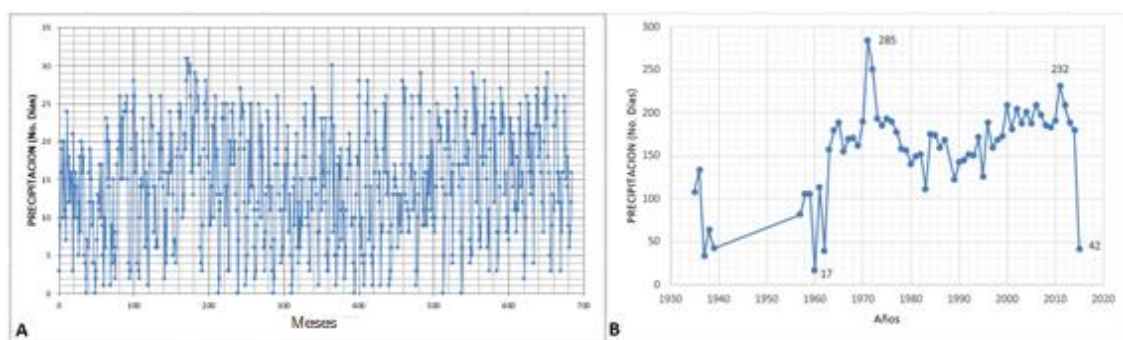


Figura 4.5 Variación de los valores anuales de días de precipitación registrados por la Estación Ventaquemada. A: variación mensual B: Variación anual.

En la figura 4.6 se presentan los valores a número de días de precipitación. La Estación Teatinos presentó tendencia negativa, altamente significativa. Se presenta la variación mensual (A) y anual (B); sin embargo, se cuenta con reportes únicamente a partir de 1990. En el año 1996 se presentó el menor número de días de lluvia y los años 1997 y 1998 fueron los que presentaron el mayor número, con 299 y 300 días respectivamente.

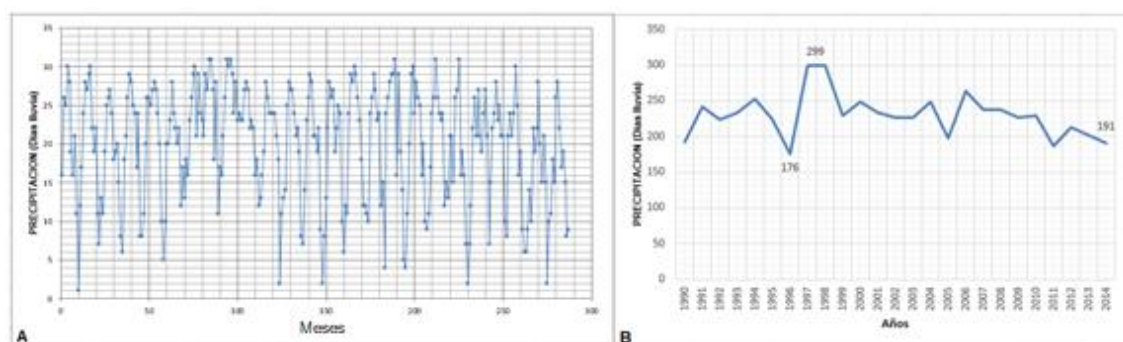


Figura 4.6 Variación de los valores anuales de días de precipitación registrados por la Estación Teatinos. A: variación mensual B: Variación anual.

En los análisis relacionados con cambio climático; por lo general no se considera la velocidad del viento; sin embargo, en esta ocasión se presentan. En la figura 4.7 se muestran los registros de los valores medios de velocidad del viento registrados en la Estación Villa del Carmen. Se

evidencia, una tendencia positiva, altamente significativa. Los vientos han aumentado, en orden de 1,5 m/s en los últimos 50 años, equivalentes a 0,9 km/h por década. Aunque, es importante anotar que cuando se hicieron las líneas de tendencias con base en los valores anuales no se presentaron tendencias estadísticamente significativas ($R^2 < 0,5$).

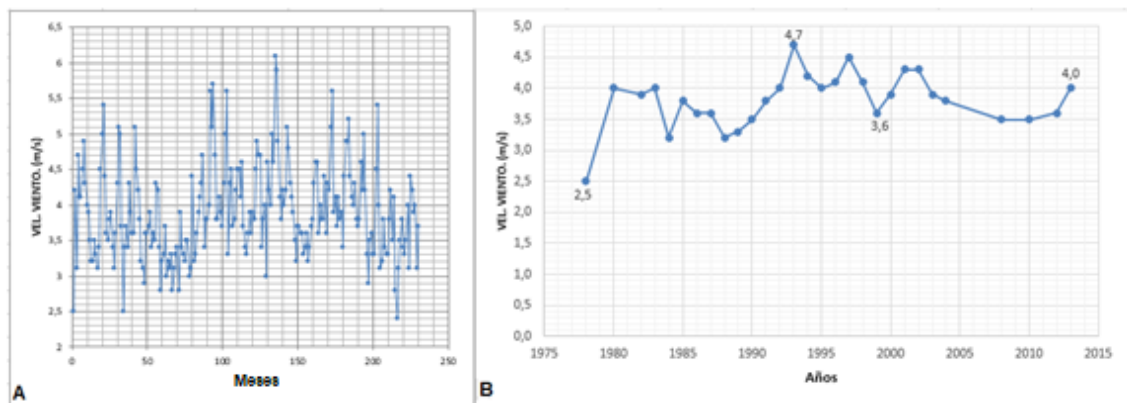


Figura 4.7 Variación de los valores medios de velocidad del viento registrados por la Estación Villa del Carmen. A: variación mensual B: Variación anual.

4.4 Discusión

La variabilidad de la temperatura en el páramo depende principalmente del gradiente de altitud y la humedad del aire determinado por el clima local. La humedad no solo disminuye el gradiente térmico sino también la variación diaria de la temperatura, la cual cambia en el orden de 0,6 a 0,7°C por cada 100 metros (Buytaert et al., 2006). En las regiones paramunas húmedas se presenta, por lo general, menor fluctuación térmica diaria (Hofstede et al., 2014).

Los resultados muestran que hay tendencias positivas en temperaturas extremas tanto máximas como mínimas. Sin embargo, los incrementos en promedio no superan los 0,33 °C por década en los últimos 50 años y los valores son menores a los proyectados para la región Andina (DNP-BID 2014, IPCC 2007, IPCC 2013 y Buytaert et al., 2006). Buytaert et al. (2014)

muestran un incremento de la temperatura en $0,11^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en el periodo 1939-1998 y de $0,34^{\circ}\text{C}/\text{década}$ para el periodo 1974-1998, que indica una tendencia de incremento en la temperatura atmosférica al comparar décadas mas cercanas a las contempladas en esta investigación.

La tendencia positiva y magnitud para temperaturas máximas encontradas en esta investigación, coincide con lo reportado por Rojas et al. (2010) y Hurtado (2011). Sin embargo, en este último trabajo, se presentan tendencias lineales, aunque no significativas estadísticamente.

Al evaluar las temperaturas máximas anuales, se encontró que el año 2010 fue el más caliente en el tiempo analizado. De otro lado, los años con los valores de temperaturas máximas más bajos fueron en su orden 1976, 1971, 1975 y 2012 resultados que coinciden con los reportados por Hurtado (2011), a excepción del año 2012 que no fue considerado en dicho estudio.

Los valores de temperaturas mínimas en las estaciones que se consideraron se incrementaron en promedio en el orden de $0,021^{\circ}\text{C}$, inferior al reportado por Rojas et al. (2010) que fue de $0,052^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, estos autores encontraron heterogeneidad en los resultados debido a que los análisis de los datos de algunas estaciones registraron aumento de la temperatura y en otras, disminución. Para el caso Rabanal todas las estaciones presentaron tendencias positivas, probablemente por la desaparición de áreas de páramo e implementación de sistemas productivos agrícolas.

Para la precipitación únicamente una estación, Ventaquemada, presentó tendencia negativa ($p < 0,05$) del orden de 4,2 mm por década. Sin embargo, en esta estación, se reportó también mayor número de días de precipitación que significa que llovió menos, pero los días con lluvia aumentaron.

El incremento en el número de días de precipitación reportado por las estaciones Teatinos y Ventaquemada, con tendencias negativa y positiva

($p < 0,05$), respectivamente, en el periodo considerado, presentó una variación inferior a un día de precipitación por década.

Lo encontrado para la precipitación coincide con los estudios de Pabón (2012) y Rojas et al. (2010) en cuanto a heterogeneidad en las tendencias. Pabón (2012) menciona que en una misma región unas zonas presentan tendencias positivas y otras tendencias negativas. Bonilla-Ovallos y Mesa (2017) con respecto a modelos climáticos aseguran que la precipitación no se simula bien debido a las dificultades de observación y que los modelos para la precipitación son menos buenos que para la temperatura. Para Buytaert y De Bievre (2012) se presentan diferencias hasta del 50% en las variaciones de precipitación entre modelos sobre cambio climático del IPCC en relación a los valores que se están registrando actualmente. Buytaert et al. (2014) mencionan que es complicado la aplicación de modelos globales de clima en los Andes debido a que tienen resolución gruesa con pixeles de más de 100 Km; por lo tanto, no se pueden lograr representaciones de los gradientes y procesos locales de clima.

Rojas et al. (2010) registran para el Altiplano Cundiboyacense, un aumento en el orden de 12 mm/año en promedio, magnitud muy superior en comparación a la encontrada, en este trabajo. No obstante, en este estudio, en la estación Teatinos que está ubicada a más de 3250 msnm se presenta una tendencia negativa, que coincide con la reportado por Rojas et al. (2010), para la estación Güicán, por encima de los 3000 msnm. En la Estación Teatinos se reporta también tendencia negativa ($p > 0,05$) en el número de días de precipitación. Contrariamente a la temperatura, la precipitación en los Andes es mucho más errática y no sigue un patrón lineal con la altitud (Buytaert et al., 2014).

Es importante resaltar que muchos efectos que se atribuyen al cambio climático, realmente no lo son. Por ejemplo, la disminución de las fuentes de agua, problemática que se origina a partir de la destrucción de los páramos y

deforestación de los bosques, actividades que se vienen desarrollando desde hace mucho tiempo con diferentes propósitos como son el aprovechamiento de recursos madereros, la explotación minera, ampliación de la frontera agrícola, establecimiento de cultivos ilícitos, entre otros (Serrano & Galarraga 2015, Tovar, et al., 2013, Rangel-Ch 2000, Moreno y Mora-Osejo 1994, Van der Hammen & Rangel 1997). Según Peyre (2015) la actividad antrópica que se desarrolla en los páramos está afectando considerablemente su equilibrio, tanto en la biodiversidad como en la capacidad de proveer servicios ecosistémicos. En este caso toma sentido la definición de cambio climático formulada en la Convención Marco de las Naciones Unidas (ONU 1992): "... un cambio del clima atribuido directamente o indirectamente a la actividad humana."

Se necesita aportar más información que se origine de procesos de investigación sobre el cambio climático en los páramos y los posibles efectos que pueda ocasionar y se considere, la incertidumbre que genera este fenómeno global, para lo cual es importante comenzar a trabajar desde ya sobre el tema de vulnerabilidad para generar lineamientos que permitan plantear medidas de mitigación y adaptación. Bonilla-Ovallos y Mesa (2017) recomiendan un esfuerzo de mayor envergadura para acercarse a respuestas útiles para que los responsables o tomadores de decisiones cuenten con la mejor información posible.

Morales-Betancourt y Estévez-Varón (2006) mencionan que los efectos del calentamiento global podrían ser múltiples. Por ejemplo, El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno que ocurre naturalmente y no como una consecuencia directa del cambio climático; sin embargo, la intensidad y duración han aumentado en las últimas décadas, que puede ser el resultado del cambio climático producido por causas antropogénicas presentadas en ese periodo (Correa et al., 2020). En este sentido, es difícil determinar efectos atribuidos directamente a cambio climático y más aún en ecosistemas altoandinos, como es el caso de páramos, los cuales han

sufrido una serie de transformaciones a través del tiempo en sus características estructurales que influyen en el papel que desempeñan, a nivel regional, en la regulación climática.

Es escasa la presencia de estaciones meteorológicas en zonas de páramo, un ejemplo es el Páramo Rabanal, en donde desafortunadamente se ha dado el desmantelamiento con fines delictivos de estaciones y esa es la razón que en algunos casos no hay continuidad en la información, sumado a que la instalación de estaciones hidrometeorológicas, como lo mencionan Buytart et al. (2014), ha estado sesgada a los valles interandinos donde es mayor la actividad humana y también por la dificultad encontrada por las condiciones climáticas extremas y la topografía irregular. Lembrechts & Lenoir (2020) recomiendan en lo posible, trabajar también con datos microclimáticos en relación con pequeños focos de condiciones favorables frente a un macroclima cambiante e indican que hacer predicciones con una resolución gruesa en cuanto a datos, se genera incertidumbre, principalmente cuando se hacen predicciones.

4.5 Conclusiones

Se presentaron tendencias positivas en los valores mensuales multianuales de temperaturas extremas, tanto máximas como mínimas en el periodo comprendido entre 1965 y 2016; sin embargo, estos incrementos están por debajo de los proyectados, en diferentes estudios, para la región Andina.

Únicamente la estación Teatinos, que se encuentra ubicada en la zona de páramo propiamente dicho, reportó tendencias negativas significativas, en el periodo 1990 - 2015 para los valores de precipitación media mensual y días de precipitación mensual.

Al considerar los valores anuales de los parámetros climáticos analizados como temperatura, precipitación y días de precipitación no se encontraron

correlaciones significativas ($R^2 < 0,5$) que indiquen una determinada tendencia,

Con los resultados, no es posible aún determinar que las tendencias encontradas estén relacionadas directamente con cambio climático, la razón es que las transformaciones de los ecosistemas naturales, a través del tiempo, podrían tener efecto en la variación del clima local.

4.6 Referencias bibliográficas

- Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change* 16: 268-28.
- Bonilla-Ovallos, C. y Mesa, O.J. (2017). Validación de la precipitación estimada por modelos climáticos acoplados del proyecto de intercomparación CMIP5 en Colombia. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 41(158): 107-118.
- Buytaert, W., Sevink, J., Cuesta, F. (2014). Cambio climático: la nueva amenaza para los páramos. En <https://www.researchgate.net/publication/262675438>
- Buytaert, W., De Bièvre, B. (2012). Water for cities. The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*. 48. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Buytaert, W., Iñiguez, V., De Bièvre, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251 (1-2), 2-30.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre B., Cisneros, F., Wyseure G. & Deckers, J., Hofstede R. (2006). Human impact on the hydrology of Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53-72.
- Cantor, G.D. (2011). Evaluación y análisis espacio temporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatología colombiana (Tesis). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 83p.

- Celleri, R. & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical Andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development*, 29(4), 350-355.
- Correa, A., Ochoa-Tocachi, B., Birkel, C., Ochoa-Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., Buytaert, W. (2020). A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical páramos. Hydrological Processes. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13904>
- DNP-BID (2014). Impactos económicos del cambio climático en Colombia – Síntesis. Bogotá. 162p.
- Foley, J.A., De Fries, R., Asner, G., Gordon, C.B., Carpenter, S.R., Stuart, C.F., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A, Kucharik, C.J., Monfreda, Ch., Patz, J.A., Prentice, C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.
- Guillaumont and Simonet. (2011). Designing an index structural vulnerability to climate change. Foundation Pour Les Etudes et Recherches sur le development International. Paris.
- Gómez-Sánchez, C.E. (2002) Cambio climático y degradación de suelos del Páramo Colombiano. En ministerio de Ambiente, CAR, IDEAM y Conservación Internacional (Comp.), *Memorias del congreso Mundial de Páramos, Tomo I. (pp. 72-79), Paipa, Colombia.*
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. y Cerra, M. (2014). Los páramos andinos ¿Qué sabemos? Estado del conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. Quito: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza - UICN.
- Hofstede, R. (2014). La importancia hídrica del Páramo y aspectos y su manejo. Proyecto Ecología del Páramo y Bosques Andinos. Quito: EcoPar. Quito.
- Hurtado, M.G. (2011). Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura máxima media para las regiones

- hidroclimáticas de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Bogotá. 61p.
- IAvH, CAR, CORPOBOYACA, CORPOCHIVOR. (2008). Estudio sobre el estado actual del Macizo Páramo Rabanal. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), corporación Autónoma de Chivor (Corpochivor). Bogotá.
- IPCC. (2014). Cambio Climático 214: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC Ginebra.
- IPCC. (2013). Cambio climático. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- IPCC. (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- Lembrechts, J.J., Lenoir, J. (2020). Microclimatic conditions anywhere at any time. *Global Change Biology*, 26(2): 337-339. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14942>
- Minaya-Maldonado, V.G. 2016. Ecohydrology of the Andes Páramo Region. Disertation. Delft University of Technology / UNESCO-IHE. Lieden (The Netherlands).
- Morales-Betancourt, J.A., Estévez-Varón, J.V. 2006. El Páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? *Revista Luna Azul* 22:1-13
- Moreno, C. y Mora-Osejo, L. (1994). Estudio de agroecosistemas de la región de Sabaneque (Municipio de Tausa Cundinamarca) y algunos de sus efectos en vegetación y el suelo. En: Mora-Osejo, L.; Sturm, H. (Eds.). *Estudios ecológicos del Páramo y Bosque Altoandino. Cordillera Oriental de Colombia. Tomo II, Colección Jorge Álvarez Lleras, No. 6* (pp.563-582). Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

- ONU. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Nueva York: ONU.
- Pabón, J.D. 2012. Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 36 (139), 261-278.
- Pabón, J.D. y Hurtado, G. (2002). La variabilidad y el Cambio Climático y su efecto en los biomas de páramo. En ministerio de Ambiente, CAR, IDEAM y Conservación Internacional (Comp.), *Memorias del congreso Mundial de Páramos, Tomo I. (pp. 160-165), Paipa, Colombia*.
- Peyre, G. (2015). Plant diversity and vegetation of the Andean Páramo. University of Barcelona, Faculty of Biology. Barcelona.
- Postigo, J.C. (2013). Descuentos y potenciales sinergias entre las respuestas de campesinos y autoridades regionales frente al cambio climático en el sur andino peruano. En: Postigo, J.C. (Ed.). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria. (pp.181-216). Santiago de Chile: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO.
- Rangel-Ch, O. (2018). El páramo colombiano: aspectos macroecológicos y ecológicos. En: Rangel-CH., J.O. (Ed.). Colombia Biodiversidad Biótica XVI. Patrones de riqueza y diversidad de las plantas con flores en el bioma de páramo (p.p.83-141). Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá
- Rangel-Ch, O. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. En: Rangel-CH., J.O. (Ed.). Colombia Biodiversidad Biótica III (p.p.1-23). Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá.
- Rojas, O.D., Canal, A.F., Murcia, D. & Pajarito, D. (2012). Modelo para el Análisis de la Vulnerabilidad territorial ante la variabilidad y el cambio climático, documento de trabajo. SDA – PRICC. Bogotá.
- Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., Avarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en

- zonas altoandinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11 (2), 173-182.
- Ruíz, D. (2013). Adaptation strategies to climate change in the tropics: analysis of two multifactorial systems. (High-Altitude Andean ecosystems and *Plasmodium falciparum* Malaria infections) Columbia University. New York. 383p.
- Ruíz, D., Moreno, H.A., Gutiérrez, M.E. & Zapata P.A. (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the total Environment* 398, 122-132.
- Serrano, D.G. & Galárraga, S.R. (2015). El Páramo Andino: características territoriales y estado ambiental. Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. *Estudios Geográficos* 76(1):369-393.
- Tovar, C.; Arnillas, C.A.; Cuesta, F.; Buytaert, W. (2013). Diverging responses of tropical andean biomes under future climate conditions. *PLoS One*, 8 (5). URL. Disponible en: www.plosone.org.
- Van Der Hammen, T. y Rangel, O. (1997). El estudio de la vegetación en Colombia. En: Rangel, O.; Lowy, P.; Aguilar, M. (Eds.). Colombia, Diversidad Biótica II. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). p.17-57.
- Van Der Hammen, T. (2002). Diagnóstico, cambio global y conservación. En ministerio de Ambiente, CAR, IDEAM y Conservación Internacional (Comp.), *Memorias del congreso Mundial de Páramos*, Tomo I. (pp. 69-71), Paipa, Colombia.

5. CAPITULO 2. ANÁLISIS RETROSPECTIVO Y ACTUAL DEL USO DEL SUELO EN EL PARAMO RABANAL, REGION CUNDIBOYACENSE - COLOMBIA

5.1 Introducción

Hay evidencias que en los páramos andinos se han desarrollado actividades humanas desde tiempos ancestrales, de hecho, Hofstede et al. (2014) y (2002) registran la presencia de grupos humanos desde hace 3000 años a.C. De la misma manera, Luteyn y Balsey (1992) mencionan que los páramos eran ocupados temporalmente por poblaciones indígenas debido a que eran lugares sagrados y tenían un alto valor simbólico. Con la llegada de los españoles, fueron introducidas en este ecosistema nuevas especies vegetales y la frontera agrícola se expandió, originando también procesos de marginación de las poblaciones que los habitaban y el establecimiento de grandes haciendas, que generaron en algunas zonas intensos procesos de degradación del suelo (Llambí et al., 2012).

Una de las causas para la rápida transformación de estos ecosistemas es que luego de las quemadas, que se favorecen por influencia de los vientos, la alta radiación, la necromasa y sustancias como ceras y resinas producidas por la vegetación que se convierten en combustible, pueden ser adaptados a la agricultura y / o ganadería (Morales-Betancourt & Estévez-Barón 2006).

Actualmente las actividades agrícolas y pecuarias, que se han arraigado durante décadas, generan presión sobre el suelo (Africano et al., 2016), sin embargo, por la baja productividad de los sistemas ganaderos tradicionales, no generan ingresos suficientes para los campesinos, por lo que requieren expandir estas áreas en detrimento de la cobertura natural y de los ecosistemas estratégicos que esta representa (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2017). Las prácticas agrícolas en estos ecosistemas

frágiles pueden tener implicaciones importantes en la calidad del suelo y agua, así como en la regulación de los flujos de agua (Otero et al., 2011).

En la actualidad se presenta a los páramos como ecosistemas que proveen servicios ecosistémicos estratégicos y que se verán directamente afectados por el cambio climático al disminuir áreas por cambios en las variables bioclimáticas; o indirectamente al aumentar la presión de transformación por la expansión de cultivos aledaños (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2017). El páramo es un espacio social que genera beneficios económicos, que ayuda a configurar entidades y que le da un carácter especial al territorio (Serrano y Galarraga 2015).

Las actividades antrópicas imprimen características notables en las zonas de páramo, por los cambios en la ocupación del suelo, asociado al establecimiento de potreros para ganado vacuno y tierras para agricultura (Serrano y Galárraga 2015). En el Páramo Rabanal se aprecia la forma en que el paisaje se ha transformado por la implementación de sistemas de producción agrícola y pecuaria que han estado interactuando con las poblaciones vegetales características de estas zonas y, que la ampliación de la frontera agrícola, produce disminución del nivel freático y contaminación por agroquímicos, así como la eliminación de la vegetación de estas zonas que afecta las propiedades químicas, físicas y biológicas, causando degradación del suelo (Borrás et al., 2010).

Problemas como la deforestación, incendios y absorción excesiva de agua como consecuencia de la expansión agrícola han modificado las características de los ecosistemas de páramo. Además, la fragmentación provoca pérdida de hábitats y nichos, alteración de la red trófica y en general reducción de diversidad (Otero et al., 2011). Actividades agrícolas como eliminación de la vegetación nativa, la labranza, reducción de laboreo, así como la incorporación de enmiendas, disminuyen los contenidos de carbono almacenado en el suelo del páramo e incrementa la tasa de descomposición

(Castañeda-Martín & Montes Pulido 2017). Por lo tanto, las actividades antrópicas como es el caso de las prácticas agrícolas tienen probablemente los mayores impactos negativos en los ecosistemas de páramo (Otero et al., 2011).

Existen otras actividades en el páramo como plantaciones forestales y minería de carbón, que según Hofstede et al. (2014) ocupan menor extensión; sin embargo, el impacto causado por estas actividades ha sido poco estudiado. En la revisión realizada por Correa et al., (2020) señalan que desde 1970 el establecimiento de plantaciones forestales con especies de pino es una actividad que se generalizó para apoyar la actividad económica relacionada principalmente con la producción de papel. Cortés-Duque y Sarmiento (2013) con respecto a la minería, establecen que los diferentes tipos que se desarrollan tienen efecto catastrófico dada la fragilidad, bajas tasas de recuperación y en especial el impacto sobre la red hídrica conformada por suelos, lagunas, ríos, humedales y aguas subterráneas; a lo cual Llambí, et al. (2012) agregan que, entre los impactos de la minería, la afectación de las interrelaciones del ecosistema y cambios sobre las estructuras sociales y culturales en el páramo.

En el Páramo Rabanal, paralelo al auge de la agricultura, la explotación minera se inició hace aproximadamente 50 años, con la extracción de carbón para producción de coque como materia prima en usos metalúrgicos. La misma, se intensificó a partir del año 2004 por el incremento de los precios internacionales del carbón (ASUSA 2013).

Con respecto a vulnerabilidad de los ecosistemas Altoandinos, se han realizado pocos estudios además de la capacidad para resistir y recuperarse de las perturbaciones que se dan por varios factores, incluyendo en estos el uso humano del suelo; por lo tanto, es importante considerar el conocimiento que se tiene en cuenta sobre los factores involucrados en su formación como la historia de la intervención humana, sensibilidad a la perturbación y

la resiliencia tras una perturbación y el conocimiento sobre los cambios del clima proyectados para estimar la vulnerabilidad potencial al cambio climático (Young et al., 2012 y FAO 2012). Es importante mencionar, como lo manifiestan Salas-Zapata, et al. (2012) que las perturbaciones son interacciones que alteran el sistema, las cuales pueden ser regulares cuando forman parte de las dinámicas propias del sistema socioecológico o extraordinarias si son ajenas a la dinámica del sistema; por ejemplo, la extracción de recursos, calentamiento global, entre otros.

La identificación de coberturas del suelo es un insumo relevante para la producción de información ambiental y la evaluación de un territorio determinado. Por esta razón, en esta investigación se realizó la interpretación de coberturas y uso del suelo, de acuerdo con la clasificación CORINE Land Cover, adaptada para Colombia (IDEAM 2010), en la cual se establecen unos lineamientos para este fin.

En este sentido para abordar el segundo objetivo, relacionado con la susceptibilidad de los elementos que constituyen el sistema socioambiental ante el cambio climático, se realizó la interpretación de coberturas de la tierra, con la metodología mencionada y a una escala de 1:50.000 en el Páramo de Rabanal en la región de Boyacá, para 3 ventanas de análisis que corresponden a los años 1980, 2001 y 2016, cada uno en representación de la década correspondiente. La utilización de la escala como herramienta metodológica está determinada, como lo mencionan Ruíz y Galicia (2016), por la dimensión espacio-temporal del fenómeno, en este caso el uso del suelo como parte de la dinámica del sistema socioambiental.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Área de estudio

El Páramo Rabanal analizado comprende un área ortogonal que abarca 11.093,583 ha, localizadas en jurisdicción de los municipios de Guachetá,

Lenguazaque, y Villapinzón en el departamento de Cundinamarca y los municipios de Ráquira, Samacá y Ventaquemada en Boyacá (Figura 5.). El área de estudio tiene aproximadamente 58,8% de territorio en jurisdicción del departamento de Boyacá y el 41,2% restante en jurisdicción del departamento de Cundinamarca.

Es importante anotar que los mapas de coberturas sirven como base para la toma de decisiones en un área a planificar (IDEAM, 2010).

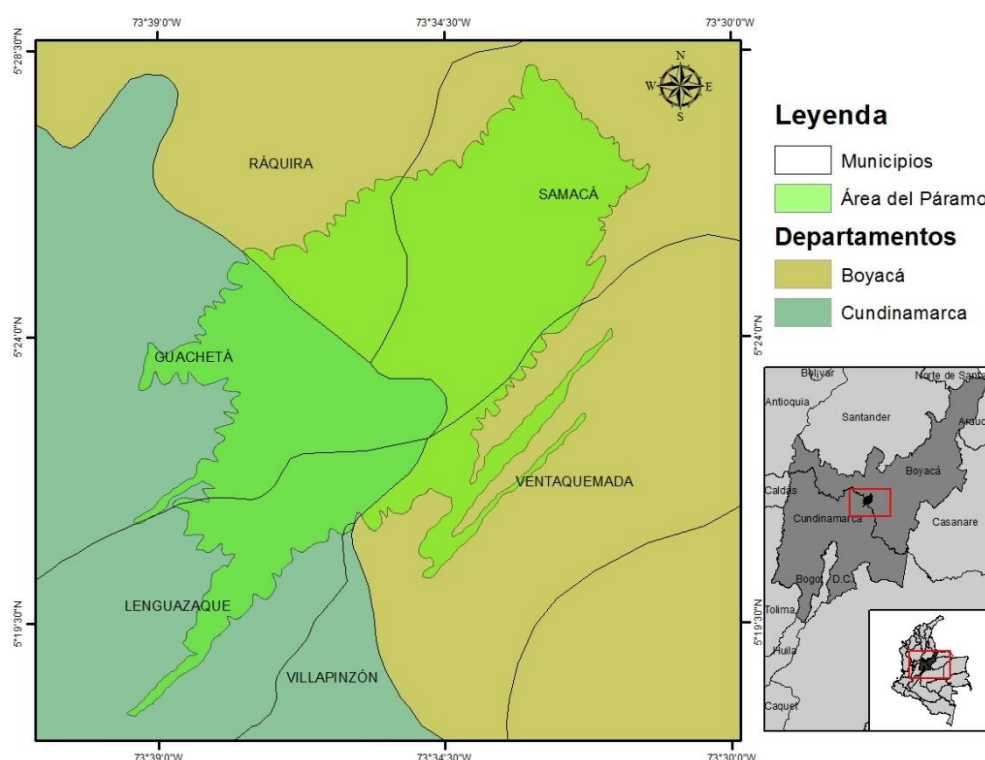


Figura 5.1 Localización del área de estudio.

La fotointerpretación se hizo sobre tres imágenes de satélite que fueron seleccionadas bajo cuatro criterios. El primero, la presencia de cobertura de nubes por debajo de 5% del total de la imagen. La resolución espacial es de 30 m, escala 1:50.000; y disponibilidad de imágenes para las 3 ventanas de tiempo, en los años de 1980, 2001 y 2016. Con base en lo anterior, se optó por el sensor Landsat, correspondiente a los años antes mencionados. Para

el análisis del año 1980 se utilizó Landsat 2, cuyo sensor corresponde a cuatro bandas espectrales, para el 2001 se utilizó Landsat 5 con siete bandas y para 2016 Landsat 8 con once bandas. Estas bandas permiten realizar distintas composiciones que permiten interpretar las diferencias entre coberturas con huella espectral similar.

Para el procesamiento de las imágenes y la captura de las coberturas se empleó el software ArcGIS 10.2.1. Se utilizó un computador para la digitalización de coberturas y cámaras fotográfica para la toma de información de verificación en campo.

La selección de las coberturas del suelo y la digitalización de las mismas se realizó con base en la guía la clasificación CORINE Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010). Dado a que esta clasificación está diseñada para escala 1:100.000, se le realizaron algunas aproximaciones, basadas en el proyecto *“Levantamiento de las coberturas de la tierra faltantes en zonas priorizadas por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA de acuerdo con la descripción de la selección OCC-012-2015”* para lograr un nivel más detallado 1:50.000. En este sentido, a cada una de las coberturas adicionales se le asignaron nomenclatura y código, de las cuales se seleccionaron 17 coberturas del suelo distribuidas en los cinco grupos del nivel jerárquico uno. Por su parte, el proceso de digitalización se utiliza la herramienta de cortar el polígono de cobertura de interés con el fin de no solapar unidades; de esta forma se garantiza que se esté realizando una sola interpretación.

La identificación de las representaciones sociales en el Páramo Rabanal se desarrolló como parte del trabajo de investigación de maestría en Ciencias Ambientales de Licona (2018). Corresponde a la interpretación que los habitantes del páramo (actores) hacen de su realidad en su entorno a través del tiempo y en donde se enfatiza el proceso de comprensión por parte del investigador, a partir de la comprensión de lo individual (González 2003, Daly 2007 & Kim 2003).

Se realizaron entrevistas semiestructuradas con 20 preguntas abiertas ordenadas en tres módulos. Esta se aplicó a 14 habitantes del páramo que hubiesen nacido y/o habitado en zonas de los municipios que hacen parte de las áreas delimitadas como ecosistemas páramo y que en la actualidad desarrollen actividades económicas en el socio ecosistema. El propósito de las entrevistas fue conocer aspectos sobre el uso del suelo, labores culturales empleadas, conocimientos sobre la práctica de barbecho y variaciones a largo plazo en la temperatura, las precipitaciones y viento, así como cambios observados a través del tiempo en su entorno. Estos habitantes se constituyen en informantes clave. El manejo de la información se hizo con el programa de análisis cualitativo ATLAS.ti.

5.3 Resultados

Los resultados de la interpretación muestran cambios de cobertura desde 1980 hasta 2016, basándose en las coberturas del primer nivel jerárquico de la clasificación CORINE Land Cover, y se describen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Cambio de coberturas del suelo (ha), en el Páramo de Rabanal.

Nivel I	Coberturas	1980	2001	2016
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	Zonas de extracción minera	11,5	11,5	11,5
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	Pastos limpios	267,7	433,8	477,5
	Mosaico de pastos y cultivos	1514,7	2098,1	2243,8
	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	420,9	500,3	598,7
	Mosaico de pastos con espacios naturales	1,9	1,9	1,9
BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES	Bosque de galería y ripario	5,5	5,5	5,5
	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	41,6	41,6	41,6
	Bosque denso bajo de tierra firme	117,8	117,8	117,8
	Bosque abierto bajo de tierra firme	55,6	55,6	61,6
	Arbustal denso	1824,1	1548,5	1518,0
	Arbustal abierto	535,4	474,0	460,4
	Herbazal denso de tierra firme	5621,5	4921,7	4899,5
	Herbazal abierto arenoso	24,2	24,2	24,2
	Plantación forestal	29,0	472,6	405,6
ÁREAS HÚMEDAS	Turberas	38,5	137,0	0
	Humedales naturales	334,1	0	0
SUPERFICIES DE AGUA	Embalses y Lagunas (espejos de agua)	249,6	249,6	226,3

En cuanto a coberturas relacionadas con los territorios artificializados, se encontró una única cobertura que se visualizó en todos los años estudiados, corresponde a zonas de extracción minera. El valor del área de esta cobertura no cambia en las tres ventanas de tiempo y se mantiene en 11,5 ha, que equivale al 0,10% del área total de estudio y se encuentra localizada en el extremo norte del área de estudio. Por su parte, zonas agrícolas se encontraron cuatro tipos de coberturas, una relacionada con pastos y tres que hacen referencia con coberturas heterogéneas que tendieron a rodear el paramó a lo largo del tiempo. Todas las coberturas agrícolas tendieron a aumentar para las tres ventanas de tiempo que se tomaron como referencia, con excepción de los mosaicos con espacios naturales que se mantuvieron constante en toda la serie. Los pastos limpios aumentaron el 78,3% entre 1980 y 2016, lo que implica que su proporción en el área de estudio pasó de 2,41% a 4,30%, (Figura 5.2).

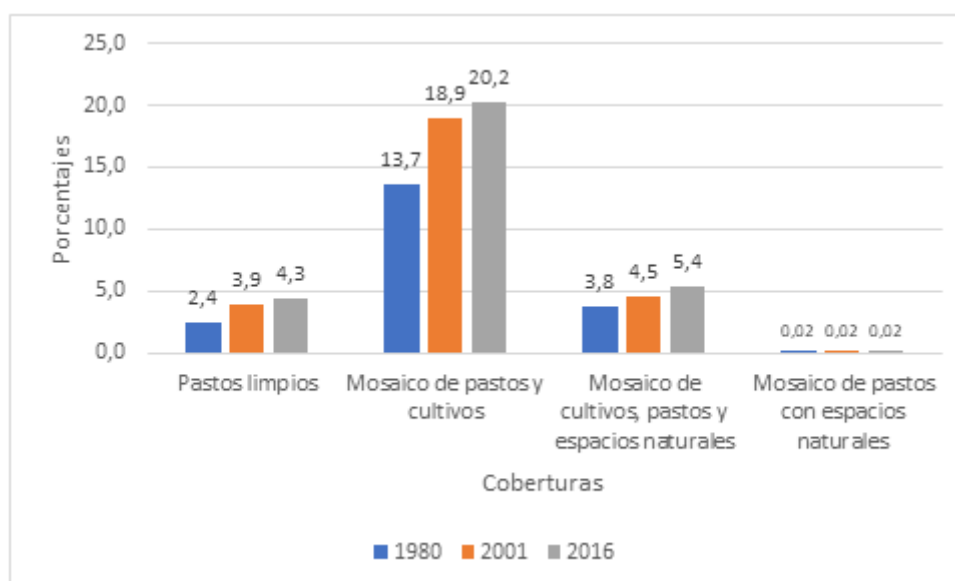


Figura 5.2 Coberturas de territorios agrícolas.

La cobertura de mosaico de pastos y cultivos, fue la de mayor superficie para este grupo de coberturas en todos los años estudiados, ya que pasaron de 1.514,7 ha (13,7%) a 2.243,8 ha (20,2%). En relación con los mosaicos

de pastos cultivos y espacios naturales, aumentaron de 420,9 ha a 598,7 ha, ocupaban 3,8% y 5,4% respectivamente.

Las coberturas de bosques y áreas seminaturales, a diferencia de los territorios agrícolas disminuyeron a través del tiempo; sin embargo, fueron las más dominantes en el área durante toda la serie de años, ya que este grupo ocupó el 74,4%, 69,1% y 67,9% (en las 3 ventanas analizadas) del área correspondiente al Páramo Rabanal (ver anexos 1,2 y 3).

Del grupo en mención, el de mayor superficie fue Herbazal denso de tierra firme que pasó de 5.621,5 ha (50,2%) a 4.899,5 ha (44,2%); seguido están los Arbustales densos de tierra firme que disminuyeron de 1.824,1 ha (16,4%) a 1.517,0 ha (13,7%) y los Arbustales abiertos pasaron de 535,4 ha (4,8%) a 460,4 ha (4,2%). En cuanto a los bosques, mantuvieron constante su cobertura a lo largo de los años. Por último, se encontró la cobertura de plantaciones forestales que fue la única cobertura que aumentó su superficie en 29,0 ha (0,3%) en 1980 a 472,6 ha (4,3%) en 2001 y en 2016 disminuyó a 405,6 ha (3,7%) (Figura 5.3).

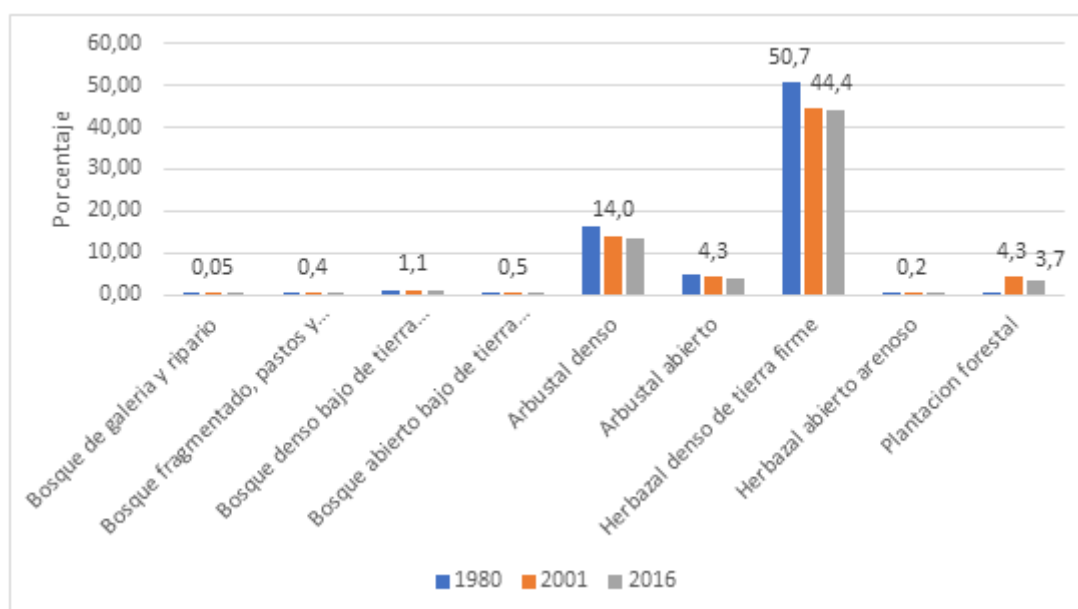


Figura 5.3 Coberturas de bosques y áreas seminaturales.

Áreas correspondientes a turberas, en la ventana establecida en 1980 se registraron 38,5 ha (0,4%) y en 2001, 137 ha (1,2%); sin embargo, para 2016, no se detectaron. En cuanto a la cobertura de humedales naturales, únicamente se evidenció su presencia en la primera ventana de tiempo analizada (1980) con 334,1 ha (3,0%). Se puede señalar, que las coberturas que desaparecieron en su mayoría fueron reemplazadas por herbazales o por mosaicos de cultivos. Para el caso de las superficies de agua, se encontraron coberturas de embalses y lagunas, que redujo su superficie ya que pasó de 249,6 ha (2,3 %) a 226,3 ha (2,0%), reducción representada en lagunas; el área de embalses se mantiene constante. (Figura 5.4).

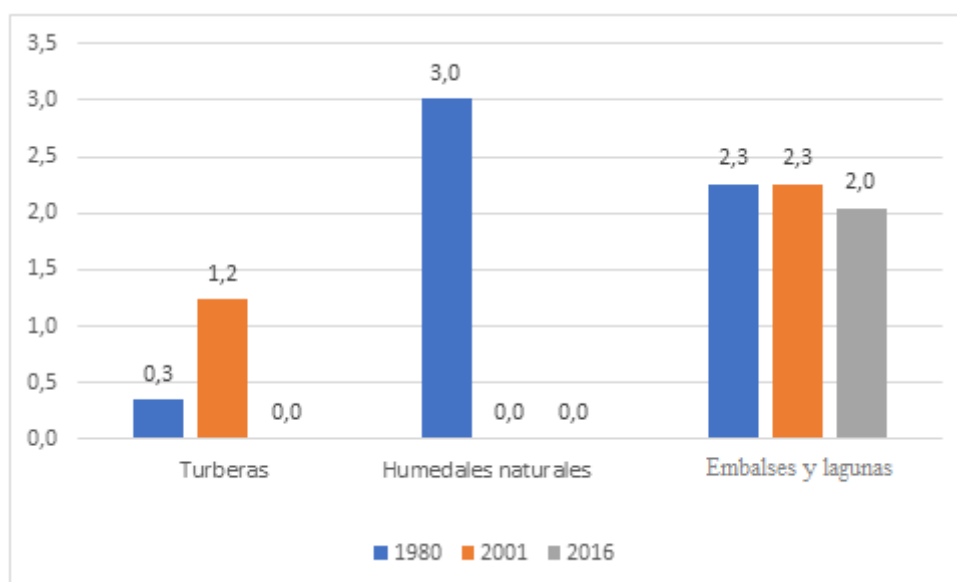


Figura 5.4 Coberturas de áreas húmedas y superficies de agua.

De acuerdo a lo analizado para Rabanal entre 1980 y 2001 se perdió el 9,5% de área de páramo conservado que en términos de área se ve la magnitud del problema, representa una pérdida de 838,5 ha y para el año 2016, la pérdida fue de 1015,7 ha. En el trabajo realizado por Borrás et al. (2010) el área dedicada a agricultura y pastoreo no supera el 40%, del cual el 15% corresponde a cultivos y el 25% a pastoreo, hay predominio de pastos con parches de cultivos de papa, trigo, cebada y huertos caseros de hortalizas,

también se encuentran parcelas en descanso, en diferentes etapas de sucesión (barbechos), además de relictos de vegetación de páramo.

5.3.1. Representaciones sociales

Los entrevistados corresponden a personas que viven en el Páramo Rabanal, sus edades están entre los 15 y 84 años, con ocupaciones diferentes como: agricultores, amas de casa, estudiantes, mineros y jornaleros.

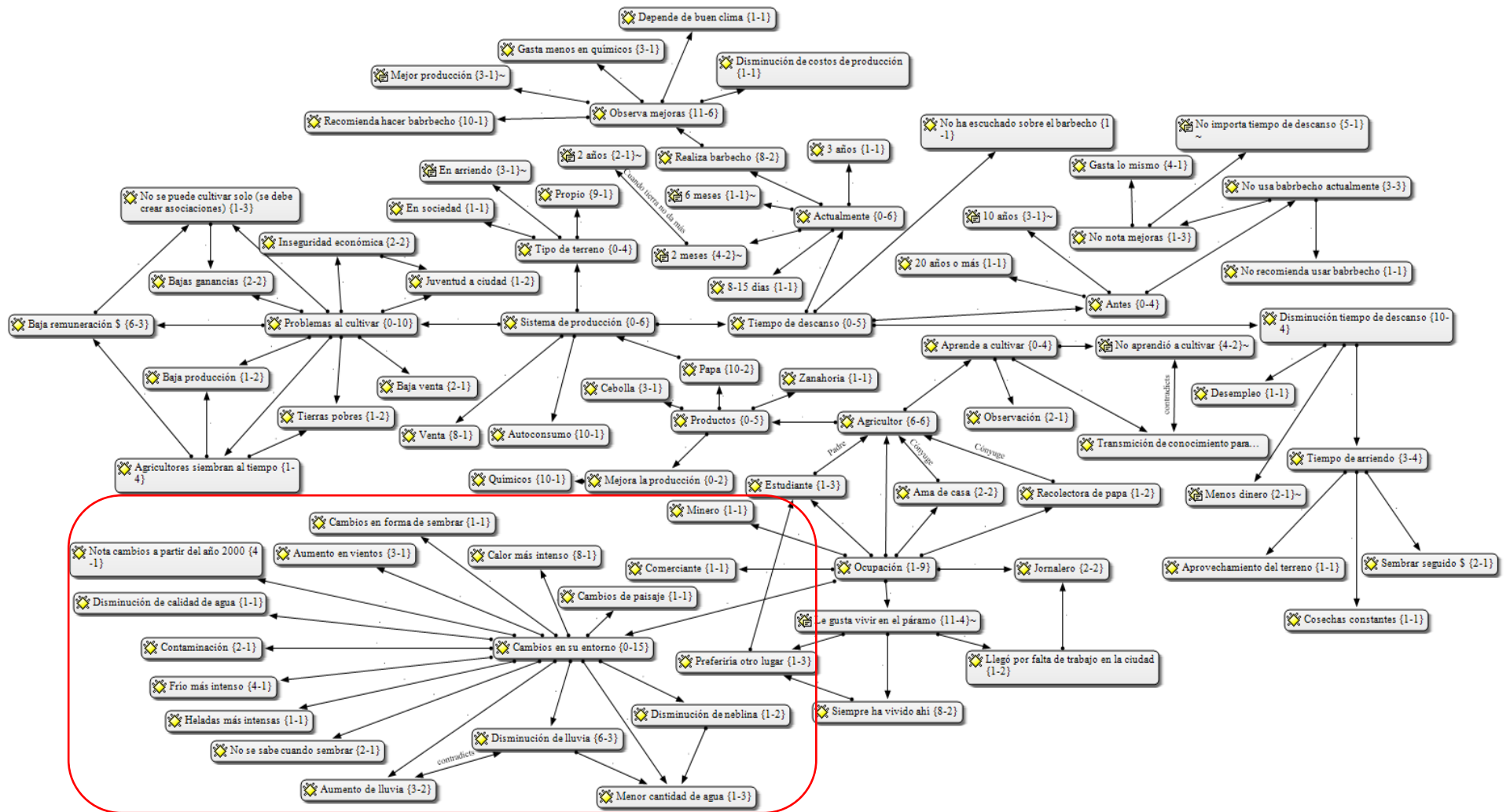
Las personas que participaron en las entrevistas advierten de cambios presentados tanto en su entorno como en el clima, “Se ha intensificado tanto el frío como el calor, se han intensificado las lluvias a “pesar que su duración ha disminuido, llueven menos días”. Resaltan que cada vez hay menos agua para los cultivos, algunos mencionan que como se han sembrado muchos árboles (pinos) estos necesitan del agua y “se la toman” generando problemas, todo lo anterior conlleva, según ellos, a que ahora es muy difícil planear las cosechas como se hacía antes. Algunos señalan algo que llama la atención, que a partir del año 2000 se han notado los mayores cambios.

“... hay menos agua para los cultivos, ni la quinta parte de lo que había, pero eso es por las minas. Primero todo esto eran bosques, con el tiempo van a tener que sembrar más árboles, yo creo que esto se bajó porque se está acabando la capa que lleva (señala el cielo), porque primero no calentaba así de duro y ahora asusta. Como del 2000 para acá fue, cuando se decía que el mundo se iba a acabar, el mundo no se acaba, pero cambió de a poquitos yo creo que, si fue porque empezaron a haber más minas, hay hartas ahora” (agricultor, 55 años).

Los impactos individuales tratados de forma aislada, no reflejará con precisión la vulnerabilidad al cambio climático; es fundamental trabajar con múltiples amenazas, las cuales no necesariamente genera un conflicto entre ellas (Bonebrake et al., 2019).

En la figura 5.5 se presenta el mapa temático general en el cual se resalta, en rojo, lo directamente relacionado con cambios en el entorno que corresponde a uno de los temas de interés.

Figura 5.5. Mapa temático de las representaciones sociales (Autores: Licona, S. y Estupiñán, L.H.)



5.4 Discusión

Los datos sobre superficies de agua se redujeron, entre 2001 y 2016 en un 9,3%, que significa una disminución en 23,3% ha; información que incluye las áreas ocupadas por los embalses Gachaneca I, Gachaneca II y Teatinos, las cuales no se modifican en el tiempo debido a que corresponden a infraestructura; la reducción está representada en la disminución del área correspondiente a espejos de agua naturales (lagunas).

La pérdida de zonas de páramo, como sucede en Rabanal, para dedicarla al establecimiento de sistemas productivos tiene implicaciones a nivel de procesos; por ejemplo, la preparación de la tierra para la agricultura afecta las capas del suelo; es movido por herramientas o maquinaria de labranza que favorece la obstrucción y desconexión de la matriz de los poros cambiando la estabilidad estructural del mismo (Otero et al., 2011). También causa fragmentación, degradación del suelo y alteraciones en el recurso hídrico que alteran, en general, la dinámica del ecosistema original (Baca, 2014).

La reducción de área conservada de páramo en Rabanal es del 30% que coincide con lo presentado por Llacsá (2005), que establece que, en los países latinoamericanos, que cuentan con páramos en su territorio, el área conservada es del orden de un 30%; en estado muy alterado un 40% y muy degradado, el 30%. A nivel global, Millennium Ecosystem Assessment (2005), registraba que el cambio en el uso del suelo es el responsable de la transformación del 50% de la superficie terrestre, generando pérdida de biodiversidad y cambios en la composición de la atmósfera. Datos que coinciden con los presentados por García, et al. (2020) que mencionan que los factores que contribuyen a esta transformación son el uso intensivo de la tierra o la expansión de la actividad antropogénica, el cambio climático global y el conocimiento limitado que se tiene de los páramos, especialmente herbáceos.

Con respecto al área ocupada por actividades mineras, no varió en las ventanas de tiempo consideradas (11,51 ha). La razón es que el tipo de extracción de carbón que se hace en la región del Páramo Rabanal es en la modalidad de minería por socavón y de acuerdo a la metodología de coberturas a través de la utilización de imágenes de satélite se registra en cada caso, la boca de mina, que corresponde al área ocupada por la entrada a cada túnel y su área superficial de influencia. A partir de la boca de mina se construyen los túneles para la extracción, cuya longitud y dirección pueden variar. También se incluye el área ocupada por las plantas productoras de coque, que básicamente corresponde a los hornos en los cuales se procesa el carbón y por la construcción de estos hornos, por debajo de la superficie del suelo, produce evaporación excesiva del agua freática.

No se menciona a la degradación del suelo como parte de la vulnerabilidad de los sistemas, ya sea ecosistemas sin alterar o sistemas productivos; por ejemplo, la degradación por erosión puede generar daños irreversibles al suelo que se pueden manifestar de diversas maneras; es el caso de la afectación de la minería, tanto en las etapas de exploración como en extracción que es impredecible debido a que hay desconocimiento de la ubicación de los acuíferos y de sus características (Cortés-Duque & Sarmiento 2013).

En el Páramo Rabanal la minería es una de las actividades productivas que tiene influencia en el ecosistema por los efectos que ocasiona y que perdurará por muchos años debido a que no hay unas políticas claras para su control. Según Guerrero (2009) la minería crece en grandes proporciones por sus aspectos económicos y por el apoyo por parte de los gobiernos, que de acuerdo con Cortés-Duque y Sarmiento (2013) los disturbios ocasionados

por la minería, sumados a la expansión de la ganadería y agricultura, pueden causar la destrucción de los páramos.

Las apreciaciones de los pobladores del páramo, sobre los cambios observados en su entorno en los últimos años, reflejan lo que está sucediendo y que se pudo analizar a través del análisis de coberturas en tres ventanas de tiempo con respecto a los cambios observados en el uso del suelo. A partir del año 2000, según Moreno (2018) se presenta un aumento constante de la producción de carbón en Colombia, tendencia que se mantiene, en el año 2016 se exportaron alrededor de 90,5 millones de toneladas; posiblemente debido al incremento de los precios internacionales que generó presión para mayor exportación, aspecto que se reflejó con el aumento de exploración, aunque en los últimos siete años hay una tendencia a la caída de los precios.

Las actividades humanas dependen de los sistemas naturales y también ejercen influencia en estos y la descripción de las interacciones de los factores de estrés actuales como el cambio en el uso del suelo con la dinámica de los ecosistemas y sistemas humanos relacionados establecen el contexto en el cual se podrán producir los efectos actuales y futuros del cambio climático (Joyce & Janowiak 2011). El uso del suelo se asocia a un conjunto de fenómenos que se presentan localmente, con alta frecuencia y cuya magnitud puede variar espacial y temporalmente (Ruíz y Galicia 2016).

Vásquez & Baslev (2015) establecen que la mayor intensidad de la intervención humana se da en las elevaciones más bajas en comparación con las más altas; a diferencia de lo expresado por los autores mencionados, para el caso específico del Páramo Rabanal, la intervención se da tanto en las zonas más altas como en las zonas bajas del páramo, en las zonas altas se encuentran los embalses tanto para atender el consumo humano directo (Teatinos) como para surtir de agua a los sistemas productivos agropecuarios (Gachaneca I y Gachaneca II); sin embargo, se coincide en el

sentido que la agricultura intensiva acelera la erosión del suelo y por lo tanto se incrementa la vulnerabilidad.

Para incluir en el análisis de los efectos del cambio climático y tener una visión integral se deben abordar las amenazas que se dan por actividades antrópicas directas como son la sobreexplotación de recursos naturales, agricultura, contaminación, uso del suelo, entre otras. Como lo expresan Bonebrake et al. (2019) existe una creciente comprensión de que los factores estresantes locales reduce los umbrales de resistencia y resiliencia a factores estresantes globales como es el cambio climático y los esfuerzos de conservación que se hagan teniendo en cuenta los diferentes actores involucrados, que deben ser importantes para hacer frente a escala regional, sin dejar de lado los esfuerzos esenciales tanto a nivel nacional como internacional.

El fenómeno abordado en este caso, el uso del suelo se presenta de diferente manera en lugares diferentes del mundo, pero con alta frecuencia, como lo expresan Ruíz y Galicia (2016) en relación a los fenómenos globales como por ejemplo el cambio climático que se manifiestan con relativa uniformidad, de aquí la importancia de abordar fenómenos locales e integrarlos a los análisis de los fenómenos a mayor escala o globales.

Según la normativa colombiana vigente, específicamente lo establecido en la Ley 1930 del 27 de julio de 2018, “los páramos deben ser entendidos como territorios de protección especial que integran componentes biológicos, geográficos, geológicos e hidrográficos, así como aspectos sociales y culturales” y “... El Estado Colombiano desarrollará los instrumentos de política, necesarios para vincular a las comunidades locales en la protección y manejo sostenible de los páramos” (Congreso de Colombia 2018). Si se cumple esta normativa y se trabaja integralmente con dichas comunidades es posible desarrollar propuestas que integren la conservación con producción sostenible; sin embargo, es necesario hacer investigación y

evaluar las experiencias que se tiene en este sentido para vincular a las comunidades humanas; por ejemplo, el uso de la práctica cultural del barbecho (Licona 2018).

5.5 Conclusiones

Las actividades antrópicas en 40 años, que corresponde la ventana de tiempo analizada en el Páramo Rabanal, generaron un mosaico diverso de coberturas que dieron paso a otro, aún mayor, de coberturas artificializadas como las zonas mineras, disminuyendo los valores de cobertura correspondiente al páramo propiamente dicho conservado.

El páramo Rabanal fue sometido a presión antrópica desde antes de 1980 (primera ventana de observación), en este año ya se presentaba un 79,4% de área conservada y el 20,6% restante dedicado a otras actividades relacionadas con sistemas de producción agropecuarias, mineras y otras asociadas a estas que, de acuerdo a los resultados encontrados, se han venido intensificando.

Se recomienda para futuras investigaciones hacer un análisis de métricas del paisaje para interpretar como los parches de cobertura, como indicadores de los cambios que hacen parte de las dinámicas del territorio, generan susceptibilidad del sistema socioambiental, en este caso el Páramo Rabanal, ante el cambio climático y la actividad antrópica local.

Igualmente, realizar estudios multitemporales en el Páramo Rabanal, con ventanas temporales menores, de aproximadamente cinco a diez años, para identificar cambios sutiles en el territorio.

5.6 Referencias bibliográficas

Africano, K., Cely, G. & serrano, P. (2016). Potencial de captura de CO₂ asociado al componente edáfico en páramos Guatavita-La Rusia,

- departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*. 21 (1): 91-110.
- ASUSA. (2013). Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de Samacá. Boletín Informativo. Samacá, Colombia.
- Baca, A.E. (2014). Reflexiones sobre los procesos de ocupación de los páramos. *Revista U.D.C.A, Actualidad y Divulgación Científica* 17(1):217-226.
- Bonebrake, T.C., Guo, F., Dingle, C., Baker, D.M., Kitching, R., Ashton, A. (2019). Integrating proximal and horizon threats to biodiversity for conservation. *Trends in ecology & Evolution*. 20 (20): 1-8.
- Borrás, L.M.; Galindo, G.A. y Triviño, G. (2010). Influencia de los patrones de uso actual de la tierra sobre la dinámica de la vegetación en el Páramo de Rabanal, vereda San Antonio, municipio de Guachetá. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(2), 65-75.
- Castañeda-Martín, A.E., Montes-Pulido, C. (2017). Carbono almacenado en páramo Andino. *Ciencias Agrícolas* 13 (1): 210-221.
- Congreso de Colombia. (2018). Ley 1930 del 27 de julio de 2018, por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. Congreso de la República de Colombia. Bogotá.
- Correa, A., Ochoa-Tocachi, B., Birkel, C., Ochoa-Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., Buytaert, W. (2020). A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical páramos. *Hydrological Processes*. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13904>
- Cortés-Duque, J., Sarmiento, C. (Eds) (2013). Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Daly, K.J. (2007). Qualitative methods for family studies & human development. University of Guelph Canada. Sage Publications. Thousand Oaks, Ca.

- FAO. (2012). FAO's current engagement in sustainable mountain development. *International Mountain society (IMS)* 2 (32):226-230.
- García, V.J., Márquez, C.O, Rodríguez, M.V., Orizco, J.J., Aguilar, C.D., Ríos, A. (2020). Ecosystems en ecuador's Southern Region: conservation State and Restoration. *Agronomy* 10 (1992). DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121922>
- González 2003. Los paradigmas de investigación en las ciencias sociales. *ISLAS*, 4(138):125-135.
- Hofstede, R., Calles, J., Lopez, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., Vasquez, A., Cerra, M. (2014). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN. Quito.
- Hofstede, R., Coppus, R., Váscónes, P.M., Segarra., Wolf, J., Servink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el ecuador. *Ecotrópicos* 15 (1):3-18
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra: Metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, Escala 1:100.000. Bogotá.
- Joyce, L.A., Janowiak, M.K. (2011). Evaluaciones sobre el cambio climático. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Washington. En: www.fs.usda.gov/ccrc/temas/evaluaciones/vulnerabilidad.
- Kim, S. (2003). Research paradigms in organizational learning and performance: Competing modes of inquiry, *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 21(199):9-18.
- Licona, L.S. (2018). Práctica cultural de barbecho en el Páramo Rabanal y su relación con la recuperación del suelo. (Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. Bogotá.
- Luteyn, J.L., Balsley, H. (Eds). (1992). Páramo: an Andean ecosystem under human influence (pp. 1-14). Academic Press. london

- Llacsá, T. (2005). El aspecto cultural de la conservación *in situ* de los cultivos nativos en el Perú. *Rev. Est. Exp. Agr. Andenes*. Cuzco 3(5):6-7.
- Llambí, L.D., Soto, A., Celleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B., Borja, P. (2012). *Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino*. Quito.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. Bogotá. 290 p.
- Morales-Betancourt, J.A., Estévez-Varón, J.V. (2006). El Páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? *Revista Luna Azul* 22:1-13.
- Moreno, A. (2018). Producción de carbón en Colombia e inversión extranjera directa 2000 – 2017. *Ciencia Política* 13 (25): 93-105. DOI: <https://doi.org/10.15446/cp.v12n25.67965>
- Otero, J.D., Figueroa, A., Muñoz, F.A., Peña, M.R. (2011). Loss of soil and nutrients by Surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering* 37: 2025-2043.
- Ruíz, R.N., Galicia, L. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 89, 137-153.
- Salas-Zapata, W., Ríos-Osorio, L., Alvarez-Del Castillo, J. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral* 22. En: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/15788/Marcoconceptual.pdf>
- Serrano, D.G. & Galárraga, S.R. (2015). El Páramo Andino: características territoriales y estado ambiental. *Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. Estudios Geográficos* 76(1):369-393.

- Vásquez, D.L., Balslev, H.P. (2015). Human impact on tropical-alpine plant diversity in the northern Andes. *Biodiversity and Conservation* (24): 2673-2683.
- Young, B., Young, K.R. & Josse, C. (2012). Vulnerabilidad de los Ecosistemas de los andes Tropicales al cambio climático (Paginas 69-71) en Herzog, S.K., Martínez, R., Jorgenssen, P.M. & Tiessen, H. (editores). *Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales*. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente. (SCOPE). Paris.

6. CAPITULO 3. VULNERABILIDAD DEL SOCIOECOSISTEMA PARAMO RABANAL

6.1 Introducción

En la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en el Páramo Rabanal, territorio en el cual se presentan las dinámicas de interacción entre los componentes del ecosistema, se establecen las relaciones sociales con el propósito de obtener una visión amplia sobre los desafíos que representa el cambio climático y los resultados se tomen como referencia para la toma de decisiones frente a las medidas que se adopten a futuro para contrarrestar los efectos de este fenómeno global.

La vulnerabilidad al cambio climático es el grado en el cual un sistema es susceptible y no tiene la capacidad de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad y extremos climáticos (IPCC 2007). La vulnerabilidad hace referencia al contexto físico, social, económico y ambiental de una región, sector o grupo social susceptible de ser afectado por un fenómeno meteorológico o climático y es importante que la vulnerabilidad, como elemento multifactorial debe ser documentada en su pasado reciente y proyectada al futuro para determinar los potenciales impactos del cambio climático (INECC - PNUD 2013).

La evaluación de impactos y de la vulnerabilidad al cambio climático representa incertidumbre: Todos los modelos coinciden en que las temperaturas medias globales aumentarán; sin embargo, las tendencias pueden variar, así como la distribución geográfica de los cambios (GIZ 2017).

En los análisis de vulnerabilidad es fundamental considerar la escala. Esta se representa la dimensión espacial temporal (corta, mediana y larga

duración), cuantitativa y que tiene que ver con niveles de extensión y resolución, entendida como la precisión. En las ciencias sociales la escala se puede medir mediante la aplicación de los niveles organizativos o funcionales, igualmente existe la percepción general que los actores locales tienen información y poseen el conocimiento local acerca de eventos pasados como los climáticos y pueden contribuir para entender las condiciones específicas del ámbito y la capacidad local para adaptarse a este tipo de eventos (Bruno et al., 2012).

En la vulnerabilidad se distinguen componentes que determinan la medida en la cual un sistema es susceptible al cambio climático: la exposición, la sensibilidad, la capacidad de adaptación, en algunos casos se incluye el impacto potencial que está determinado por la exposición (GIZ 2017).

La exposición es el componente de la vulnerabilidad directamente vinculado a los parámetros de clima, en lo que tiene que ver con el carácter, la magnitud, la rapidez del cambio y variación en el clima y cambios en estos parámetros pueden ejercer mayor presión adicional en los sistemas. La sensibilidad se refiere a las actividades humanas que afectan a la constitución física de un sistema y en este sentido, los factores sociales como densidad de la población deben ser considerados solo como sensibilidades si contribuyen directamente a un impacto del clima (GIZ 2017). La capacidad de adaptación de un sistema, es la capacidad que tiene para ajustarse al cambio climático, incluida, como se mencionó antes, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos, para moderar daños potenciales, aprovechar las oportunidades o para hacer frente a las consecuencias y, en este sentido, la adaptación puede reducir la sensibilidad al cambio climático y la mitigación puede reducir la exposición (Magrin 2015 y IPCC 2007).

Los impactos del cambio climático pueden formar una cadena de impacto más directo que se extiende desde la esfera biofísica a la esfera social y se

cumpliría, para el caso del páramo, lo expuesto en el sentido que la dependencia directa de los recursos naturales significa que el vínculo entre los impactos biofísicos del cambio climático y las actividades humanas sean particularmente fuertes (GIZ 2017).

La percepción ajustada de la realidad permite al individuo tomar decisiones más eficientes que mejoran su condición socioeconómica y su capacidad de adaptación, dicho de otra manera, el conjunto de características socioeconómicas y la percepción social limitan las capacidades de desarrollo, de prevención y de respuesta frente a la materialización de un impacto o catástrofe de una población (Pérez et al., 2016).

La vulnerabilidad al cambio climático se puede abordar desde diferentes enfoques. A continuación, se plantean tres que se consideran importantes de los cuales se toma como referencia el enfoque integrado para el desarrollo de la investigación en el Páramo Rabanal.

6.1.1 Vulnerabilidad basada en el enfoque de riesgo a desastres.

Lampis (2013) lo llama enfoque Riesgo-Amenaza y establece que su atención se enfatiza en lo que produce la vulnerabilidad, el riesgo y la amenaza y el interés está enfocado u orientado a la estimación de la probabilidad del riesgo como a la cuantificación de su impacto. Por lo tanto, encaja en este enfoque la perspectiva biofísica debido a que se define como la posible exposición a los peligros. Según Bruno et al. (2012) se centra en las condiciones biofísicas y la exposición a los riesgos de una determinada unidad de análisis, aunque proporciona una comprensión global de los procesos que generan la exposición y que es limitada porque excluye factores sociales, económicos, políticos y culturales.

6.1.2 Vulnerabilidad basada en el enfoque de la ecología política y la política económica.

El estudio de la vulnerabilidad está influenciado por investigaciones desarrolladas desde diferentes corrientes de pensamiento como la ecología humana, la economía política y la ecología política, entre otras (Bruno et al., 2012). Se hace énfasis del enfoque basado en factores sociopolíticos, culturales y económicos, que explican exposición diferencial a los desastres, los impactos diferenciados y capacidades diferenciales para recuperarse de impactos pasados o las fortalezas para adaptarse y enfrentar los impactos futuros. Se examinan las relaciones ambientes – sociedad e incluye procesos históricos y la naturaleza dinámica de la vulnerabilidad. Los procesos sociales, económicos y políticos se tratan en diferentes escalas (Franco et al., 2011).

Es asimilable al enfoque propuesto por Lampis (2013) en el cual se potencia la capacidad de los grupos humanos para enfrentar las situaciones críticas y recuperarse de sus efectos; coincide también con lo planteado por Bruno, et al. (2012) en el sentido que la vulnerabilidad es una característica inherente de los sistemas sociales, su responsabilidad está en la sensibilidad y capacidad de adaptación para recuperarse y adaptarse de la exposición al cambio climático.

6.1.3 Vulnerabilidad basada en el enfoque Integrado, visión integradora o de territorio.

Considera las dimensiones biofísicas y sociales y proporciona una visión interdisciplinaria en los análisis de vulnerabilidad. En este enfoque se combinan las características de la vulnerabilidad interna (social) de una unidad (población o lugar) con su exposición frente a los factores de riesgos externos (biofísicos) que se encuentran influenciados por los riesgos, la tipología de las acciones y efectos de la mitigación que influyen en los procesos territoriales que son consecuencia de la vulnerabilidad existente en

el territorio y se consideran las variables de carácter social y físico que determinan la sensibilidad (Lampis 2013).

Postigo (2013) parte que hay un reconocimiento antropocéntrico del proceso de cambio climático, aspecto que implica considerar la relación sociedad - naturaleza; por lo tanto el análisis integrado de vulnerabilidad, busca direccionar dimensiones biofísicas y sociales tomando como base que las relaciones naturaleza – sociedad que se consideran más como una “mutualidad” que una “dualidad” y la vulnerabilidad está condicionada por características biofísicas, procesos sociales, políticos, económicos e institucionales (Bruno et al., 2012).

Como información complementaria es importante mencionar a Prieto-Rozo (2013) presenta 15 definiciones de vulnerabilidad al cambio climático que son utilizadas por entidades del orden nacional colombiano entre las que se encuentran: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Fundación Humedales, Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, Organización Panamericana de la Salud - OPS, entre otras; aspecto que muestra la complejidad para llegar a acuerdos y tomar decisiones concertadas.

Para dar cumplimiento al tercer objetivo planteado, la evaluación de la vulnerabilidad se realiza a partir de la definición y análisis de indicadores en las dimensiones biofísica, social y económica del sistema.

6.2 Materiales y métodos

El enfoque que se asumió para la realización del presente capítulo es el integrado propuesto por Lampis (2013). El lugar o territorio corresponde al Páramo Rabanal, los factores de riesgo externo la variación climática debida a cambio climático, variabilidad climática y variaciones climáticas locales, así como la actividad antrópica realizada en este territorio. Es importante

también anotar que la evaluación de vulnerabilidad al cambio climático, como lo expresan Joyce y Janowiak (2011), sintetiza e integra la información científica, los análisis cuantitativos, información proveniente de expertos para determinar el grado de susceptibilidad al cambio climático, la variabilidad y los extremos de clima y de la comunidad constituida por los habitantes del socioecosistema Páramo Rabanal.

Con base en información primaria recopilada en los capítulos anteriores y la información secundaria tomada de diferentes fuentes, se construyó la matriz general (anexo 4) en la cual se hace la presentación general y definición de los indicadores propuestos por componente (variación climática, actividad antrópica, población, degradación ambiental, ocupación del territorio, producción agrícola, tecnología para la producción, recursos naturales, salud, educación, procesos de gobernanza y gobernabilidad) y factor (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación).

Posteriormente, se realizó la valoración y ponderación de componentes de la vulnerabilidad al cambio climático y se usó la escala de 1 a 5, para tener los factores en la misma escala para comparar los diferentes indicadores y la ponderación se realizó en porcentaje como se muestra en la tabla 6.1. Para mostrar gráficamente dicha ponderación y la proporción en que se presenta se utilizó la metodología de los gráficos radiales (Pérez 2012).

Para la selección de indicadores del factor exposición se tomó como referencia el resultado del análisis de tendencias de las variables climáticas temperatura y precipitación y el criterio correspondiente a actividad antrópica representada por las actividades agrícolas, mineras y forestales. Para el factor sensibilidad se utilizaron los criterios de población, degradación ambiental y ocupación del territorio (tabla 6.1) a partir de los resultados presentados en el segundo capítulo de este documento. Para el componente capacidad de adaptación se organizó un panel de expertos con el propósito de determinar cuáles son los indicadores pertinentes de los presentados

inicialmente y excluir, según su criterio, los que no tiene relación con vulnerabilidad. El panel de expertos lo conformaron biólogos, ecólogos, agrólogos e ingenieros agropecuarios, todos relacionados con el tema de cambio climático en ecosistemas Altoandinos, específicamente páramos. La consulta se realizó a través de la herramienta Google forms.

El índice de vulnerabilidad (IV) se calculó de acuerdo a la fórmula general de la vulnerabilidad (CDKN - AVA 2013 y Valencia et al., 2014):

$$IV = E + S - CA \quad (\text{Ecuación 1})$$

IV: Índice de vulnerabilidad

E: Exposición

S: Sensibilidad

CA: Capacidad de Adaptación

Donde:

$$E = Vt + Vp + A + M + Pf \quad (\text{Ecuación 2})$$

E: Exposición

Vt: Variación de la temperatura

Vp: Variación de la precipitación

A: Agricultura

M: Minería

PF: Plantación forestal

$$S = Dp + Spa + M + Pc + V + Pa \quad (\text{Ecuación 3})$$

S: Sensibilidad

Dp: Densidad de población

Spa: Sistema de producción agrícola

M: Minería de Carbón

Pc: Producción coque

V: Vivienda

Pa: Páramo

$$CA = Sb + A + Pa + Cs + Ss + Ev + E + Gz + Gb \quad (\text{Ecuación 4})$$

CA: Capacidad de Adaptación

Sb: Sistema de barbechos

A: Agua

Pa: Páramo

Cs: Cambio del uso del suelo

Ss: Servicio de salud

Ev: Esperanza de vida

E: Escolaridad

Gz: Gobernanza

Gb: Gobernabilidad

El cálculo del IV se realizó a partir de los valores obtenidos de la valoración y ponderación de cada componente, ajustados en la escala 0 – 1, siendo el valor máximo posible 1,0 a partir de la matriz general ajustada que se presenta en la tabla 6,1. Es importante aclarar que los valores obtenidos no corresponden a valores absolutos sino a valores relativos.

Para el análisis de la vulnerabilidad por zona se tomó como referencia, el análisis de coberturas (Capítulo 2), del cual se obtienen las zonas más representativas del páramo Rabanal que son: zona agrícola (34,7%), zona de páramo conservado, sin rastro de intervención (61,6%), zona de plantaciones forestales (3,7%) y la zona minera que corresponde a extracción de carbón y producción de coque (0,1%). Se procedió de igual manera que para la obtención de IV general.

6.3 Resultados

Los factores son los aspectos principales que constituyen la vulnerabilidad, como son exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación; por su parte, los componentes están en relación con cada aspecto y los indicadores son los parámetros (GIZ 2017) que proporcionan la información sobre el estado de cada componente y los cuales se valoran o se miden.

La fuente corresponde al origen de los indicadores y su valoración, los cuales se obtuvieron, en su mayor parte, de los resultados obtenidos en el proceso de investigación que se presenta en los capítulos anteriores. Igualmente se hace una presentación corta de los criterios de evaluación que se tuvieron en cuenta y la escala de valoración utilizada.

En la tabla 6.1 se presenta la valoración y ponderación de los tres factores que componen la vulnerabilidad. Se toma como referencia la valoración de los indicadores realizada en base a los criterios establecidos.

Los tres componentes deben estar en equilibrio y tener el mismo peso; sin embargo, como se observa en la figura 6.1, la cual se obtiene de la evaluación de todos los indicadores discriminados por componentes, se aprecia que el sistema está expuesto a variaciones climáticas como consecuencia de cambio climático, variabilidad climática o posiblemente por las variaciones locales en el clima, variaciones que en conjunto no son claras como se evidenció en el análisis de tendencias de temperatura y precipitación en comparación a los pronósticos que se han realizado al respecto; sin embargo la zona de estudio, no está expuesta únicamente a los factores climáticos, también lo está a la alta actividad antrópica como se mostró en el Capítulo 2, que ha ocasionado transformaciones de una zona representativa del Páramo Rabanal, que altera en general sus condiciones y estabilidad.

Tabla 6.1 Valoración y ponderación de componentes de la vulnerabilidad al cambio climático.

FACTOR	CRITERIO	INDICADOR	Evaluación	PONDERACION en %	Relación Evaluación Ponderación
			Escala 0 a 5		Máximo (1,0)
1. EXPOSICION	VARIACION CLIMATICA	Variación de la temperatura	4,0	21,1	0,07
		Variación de la precipitación	2,0	10,5	0,04
	ACTIVIDAD ANTROPICA	Agricultura	5,0	26,3	0,09
		Minería	5,0	26,3	0,09
		Plantaciones forestales foráneas.	3,0	15,8	0,05
PONDERACION			19,0	100,0	0,34
2. SENSIBILIDAD	Población	Densidad de la población en área del páramo	3,0	15,0	0,05
		Sistemas de producción agrícola.	2,0	10,0	0,04
	Degradación ambiental	Minería de carbón	4,0	20,0	0,07
		Producción de coque	4,0	20,0	0,07
	Ocupación del territorio	Vivienda.	3,0	15,0	0,05
		Área de páramo no conservada	4,0	20,0	0,07
PONDERACION			20,0	100,0	0,36
CAPACIDAD DE ADAPTACION	Tecnología para la producción	Sistema de barbechos	2,0	11,8	0,04
	Recursos naturales	Disponibilidad de agua	4,0	23,5	0,07
		Superficie de páramo conservado	2,0	11,8	0,04
		Cambio de uso del suelo	2,0	11,8	0,04
	Salud	Acceso a servicios de salud	1,0	5,9	0,02
		Esperanza de vida	1,0	5,9	0,02
	Educación	Promedio escolaridad	1,0	5,9	0,02
	Procesos de gobernanza	Capacidad decisoria de las comunidades	2,0	11,8	0,04
		Capacidad de gobernar	2,0	11,8	0,04
PONDERACION			17,0	100	0,30
TOTAL, GENERAL			56,0	270,6	1,0

El componente sensibilidad del Páramo Rabanal está influenciado por sus condiciones extremas, como cambios bruscos de temperaturas,

precipitaciones frecuentes y alta velocidad del viento, entre otras, sumado a la actividad antrópica que lo transforma y que, en conjunto, lo hacen más sensible a los cambios que se presenten a nivel global como es el cambio y la variabilidad climática.

El componente capacidad de adaptación tiene menor peso y está relacionado con la ausencia de acciones encaminadas específicamente en este sentido. Esto significa que en la medida que se presentan afectaciones, ya sean por efectos del clima como por actividades provocadas por las personas, no se visualiza alguna respuesta que permita contrarrestar dichos efectos.

Para tener claridad en la interpretación de la figura 6,1 es importante mencionar que, si el sistema se encuentra en equilibrio, está expuesto, es sensible y hay medidas que se toman como capacidad de adaptación para contrarrestar la exposición y la sensibilidad, el área calculada (rojo) coincidiría con el área ideal (azul) situación que no se presenta en el Páramo Rabanal.

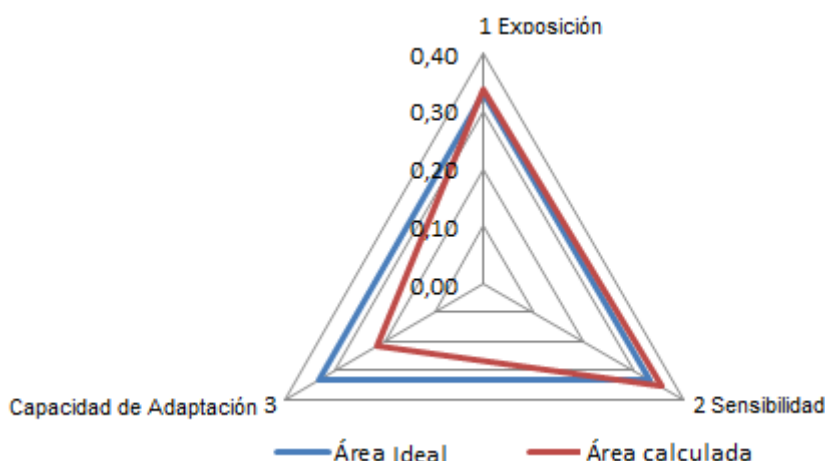


Figura 6.1 Representación gráfica de la evaluación de factores.

6.3.1 Exposición

Al analizar el componente de exposición (tabla 6.2) y su representación gráfica (figura 6.2) obtenida a partir de la matriz de indicadores, se aprecia que el sistema está expuesto a los efectos de las actividades antrópicas representadas por el establecimiento de sistemas productivos agrícolas, la actividad minera, el establecimiento de especies forestales y a las variaciones a través del tiempo de la temperatura y precipitación. Por su parte las plantaciones de pino tuvieron un impacto fuerte en el pasado (hace 20 años o más). Sin embargo, de acuerdo al análisis de coberturas, no se incrementó el área; por el contrario, ha comenzado a darse un desmonte paulatino de dichas plantaciones y actualmente se están llevando a cabo entresacas, de alguna manera controladas, dando espacio y tiempo para que se lleve a cabo el proceso natural de sucesión ecológica. Lo contrario sucede con la minería y la producción agropecuaria, que además de incrementarse el área del páramo dedicada a estas actividades (3.780,6 ha), los procesos de producción son más intensivos. Con respecto a los incrementos de la temperatura) en la zona de estudio de acuerdo al análisis de tendencias realizados como parte del presente trabajo, están en el orden de 0,33°C/década; sin embargo, estuvieron por debajo de los proyectados mediante análisis retrospectivos y prospectivos a través de la utilización de modelos basados en escenarios de cambio climático elaborados para el clima del futuro en la región de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR durante el siglo XXI (Pabón 2012).

Con respecto a lo mencionado anteriormente es importante anotar que el PNUD (2011) plantea la incertidumbre en la predicción de los modelos climáticos que surge de tres fuentes particulares: a) incertidumbre en las emisiones futuras de GEI, debida a su vez en incertidumbres clave acerca de las relaciones de la población futura, el desarrollo socioeconómico y los cambios técnicos conforme afectan las emisiones de GEI, b) incertidumbre en la respuesta del modelo, en el sentido que los modelos pueden pronosticar cambios en el clima para los mismos forzamientos, debidos a representaciones matemáticas variantes del sistema terrestre y c)

variabilidad del sistema climático, que se refiere a fluctuaciones naturales en el clima que ocurren aparte de cualquier intensificación radiativa del sistema terrestre y que podrían revertir tendencias climáticas a largo plazo.

Tabla 6.2 Valoración y ponderación de indicadores específicos para exposición.

FACTOR	CRITERIO	INDICADOR	Evaluación	PONDERACION en %	Relación Evaluación Ponderación
			Escala 0 a 5		Máximo (1,0)
EXPOSICION	VARIACION CLIMATICA	1. Variación de la temperatura	4,0	21,1	0,21
		2. Variación de la precipitación	2,0	10,5	0,11
	ACTIVIDAD ANTROPICA	3. Agricultura	5,0	26,3	0,26
		4. Minería	5,0	26,3	0,26
		5. Plantaciones forestales foráneas.	3,0	15,8	0,16
PONDERACION			19,0	100,0	1,00

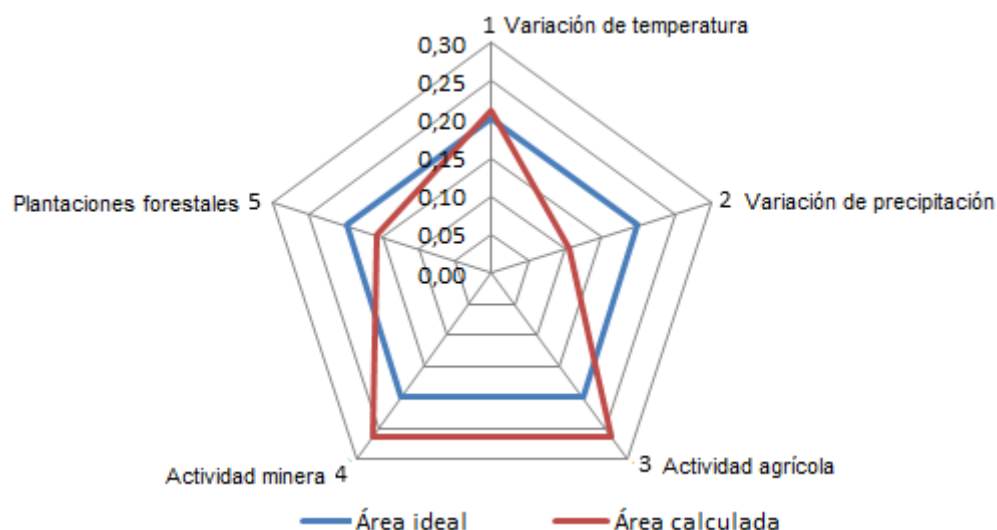


Figura 6.2 Representación gráfica de la evaluación de indicadores de exposición.

6.3.2 Sensibilidad

En la matriz (tabla 6.3) y representación gráfica (figura 6.3) del componente sensibilidad se aprecia que los indicadores que más valor tienen son los relacionados con minería y la disminución del área conservada de páramo. En el primer caso, representada tanto por la extracción de carbón y por la producción de coque; es importante anotar que la explotación de carbón es por socavón y en los análisis de coberturas se registran las entradas de los túneles (boca mina) y para el caso de la producción de coque, registra la presencia de los hornos en el área y en lo que tiene que ver con producción agrícola se registra aumento de cobertura de áreas dedicadas a esta actividad y, por supuesto, una disminución del área conservada. Los indicadores densidad de la población y ocupación del territorio no pesan en este componente, sus valores están por debajo del área ideal. Los sistemas de producción agrícola, de acuerdo al análisis, representados por el incremento del área de producción, también son fundamentales como componente de la sensibilidad del sistema.

Tabla 6.3 Valoración y ponderación de indicadores específicos para sensibilidad.

FACTOR	CRITERIO	INDICADOR	Evaluación	PONDERACION (%)	Relación Evaluación Ponderación
			Escala 0 a 5		Máximo (1,0)
SENSIBILIDAD	Población	1. Densidad de la población en área del páramo	3,0	15,0	0,15
		2. Sistemas de producción agrícola.	2,0	10,0	0,10
	Degradación ambiental	3. Minería de carbón	4,0	20,0	0,20
		4. Producción de coque	4,0	20,0	0,20
	Ocupación del territorio	5. Vivienda.	3,0	15,0	0,15
		6. Area de páramo no conservada	4,0	20,0	0,20
PONDERACION			20,0	100,0	1,00

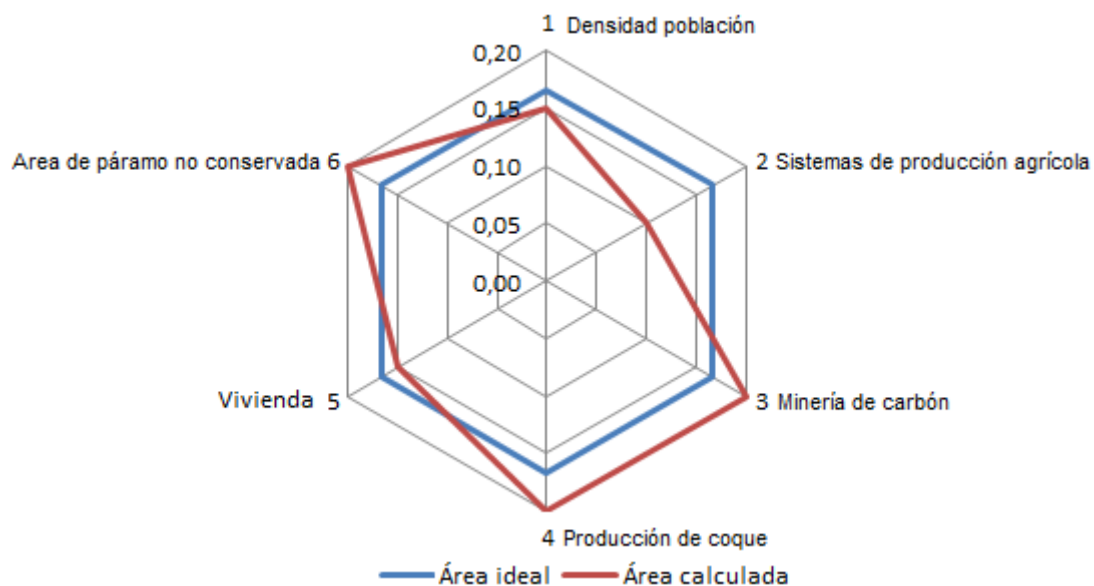


Figura 6.3 Representación gráfica de la evaluación de indicadores de sensibilidad.

6.3.3 Capacidad de adaptación

Los resultados de indicadores y ponderación del componente capacidad de adaptación a partir de la consulta en el panel de expertos, se indican en la figura 6.4. De los 11 indicadores propuestos se descartaron 2, sistemas de producción agrícola y sistemas de producción pecuaria, la mayoría les dan una calificación de 1,0 sobre 5,0. Valor que se tomó como referencia para descartarlos por no tener relación directa con capacidad de adaptación

Sobre la implementación de barbechos, el 44,4% de los consultados consideran que están relacionados con la capacidad de adaptación y dan una calificación de 4,0. Con respecto a la presencia de fuentes hídricas conservadas, el 55,6 y 33,3% consideran una alta relación y le dan una calificación de 4,0 y 5,0 respectivamente. De otra parte, el 88,9% de los expertos consideran, con la mayor calificación (5,0), la relación de la presencia de áreas conservadas de páramo como capacidad de adaptación. En relación al cambio del uso del suelo, sin especificar el propósito, el 44,4% lo relacionan directamente y le dan la calificación de 3,0. En referencia a la población humana, los indicadores como acceso a salud, aumento de la

esperanza de vida y niveles de escolaridad de la población, el 44,4 le otorgan una calificación de 3,0. El 55,6% y 22,2%, les otorgan una calificación entre 5,0 y 4,0 respectivamente a procesos de gobernanza y el 44,4 y 33,3% le dan una calificación de 4,0 y 5,0 respectivamente a gobernabilidad. Es importante mencionar que a pesar de que el juicio de los expertos, según la GIZ (2017) puede resultar subjetiva, en el sondeo realizado en este trabajo se presentaron coincidencias en la mayoría de los consultados en cuanto a selección de indicadores.

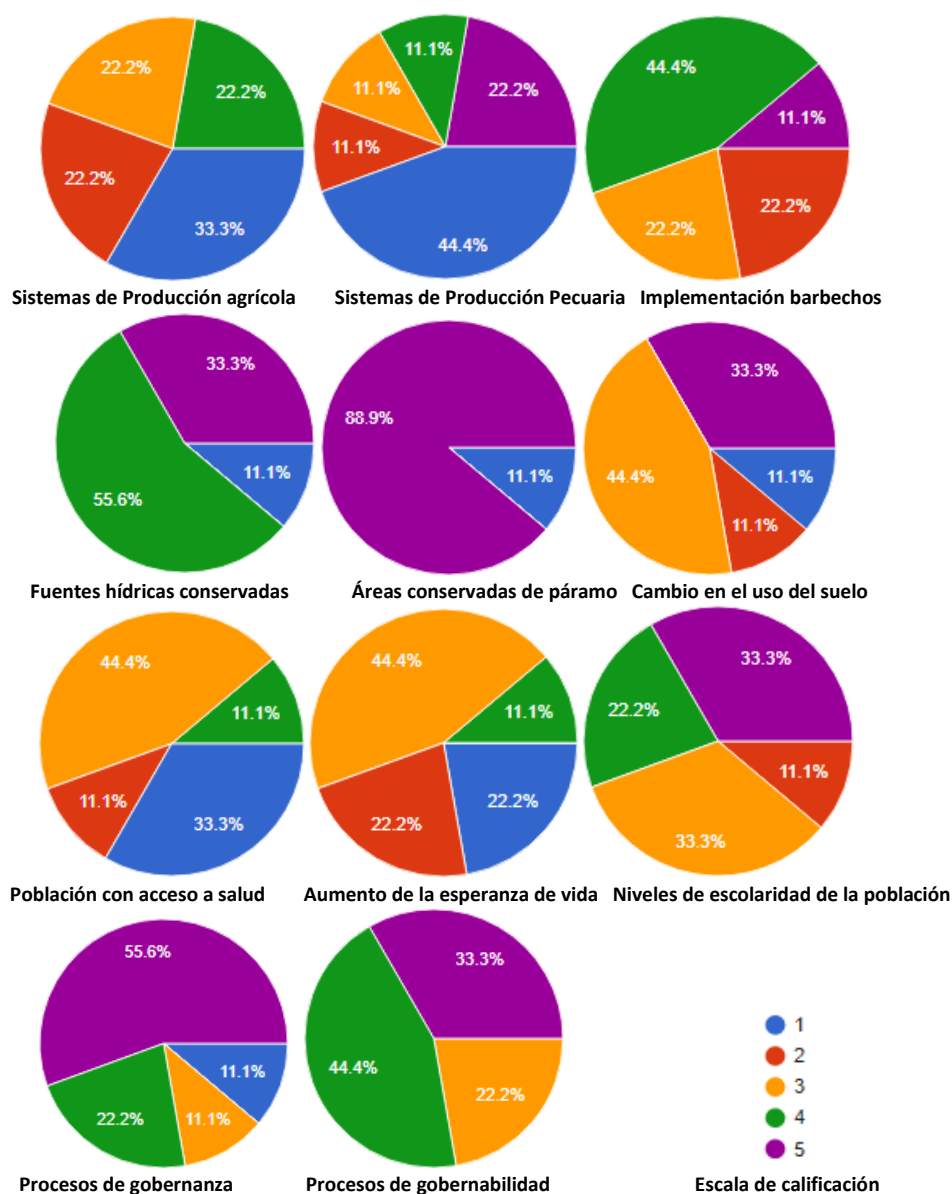


Figura 6.4 Representación de los resultados obtenidos a través del sondeo realizado por expertos frente al componente capacidad de adaptación.

Con base en los indicadores seleccionados se procedió hacer la calificación como se muestra en la matriz de capacidad de adaptación al cambio climático, que se presenta en la tabla 6.4. Es importante mencionar que es el factor que más indicadores registra con un total de 9.

Tabla 6.4 Valoración y ponderación de indicadores específicos para capacidad de adaptación.

FACTOR	CRITERIO	INDICADOR	Evaluación	PONDERACION en %	Relación Evaluación Ponderación
			Escala 0 a 5		Máximo (1,0)
CAPACIDAD DE ADAPTACION	Tecnología para la producción	1. Sistema de barbechos	2,0	11,8	0,12
	Recursos naturales	2. Disponibilidad de agua	4,0	23,5	0,24
		3. Superficie de páramo conservado	2,0	11,8	0,12
		4. Cambio de uso del suelo	2,0	11,8	0,12
	Salud	5. Población que habita el páramo con acceso a servicios de salud	1,0	5,9	0,06
		6. Esperanza de vida	1,0	5,9	0,06
	Educación	7. Promedio escolaridad	1,0	5,9	0,06
	Procesos de Gobernanza	8. Capacidad decisoria de las comunidades.	2,0	11,8	0,12
	Procesos de Gobernabilidad	9. Capacidad de gobernar.	2,0	11,8	0,12
PONDERACION			17,00	100,0	1,00

En la figura 6.5 se aprecia que únicamente el indicador que corresponde a la presencia de fuentes de agua tanto naturales como construidas y que están en buen estado; por lo tanto, está por fuera del área ideal. Estas fuentes hídricas que durante la mayor parte del año están en sus máximos niveles, a pesar de que la demanda, para los sistemas productivos en promedio es

constante y abastece para riego un total 3.024 ha (Alcaldía de Samacá 2012), son a las que mayor valoración se les asignó y se constituyen en la base como medidas de adaptación a la variación climática. Los indicadores 1, 3, 4, 8 y 9 (Tabla 6.4) se podrían constituir como referencia de alternativas para la capacidad de adaptación. Por ejemplo, el incremento de las áreas dedicadas a barbechos se puede lograr mediante la implementación de programas de restauración. Con respecto al indicador relacionado con el cambio del uso del suelo, si se incrementa el área dedicada a cultivos bajo los sistemas tradicionales de producción intensiva, el indicador sería negativo para los procesos de adaptación a cambio climático.

La información que se tomó como referencia para establecer y calificar los indicadores relacionados con vivienda, educación y salud de los habitantes del páramo Rabanal, se presenta en la tabla 6.5. La fuente de consulta principal corresponde a los planes de ordenamiento territorial de los municipios con jurisdicción en el páramo Rabanal e información del Instituto Alexander von Humboldt (2014).

Tabla 6.5 Información sobre distribución política del Páramo Rabal y algunas características socioeconómicas de los habitantes del páramo.

Municipio	No. Veredas	No. habitantes	Tasa de analfabetismo en %
Samacá	3	173	4,5
Ventaquemada	4	99	9,4
Ráquira	1	82	34,4
Lenguazaque	4	66	5,9
Guachetá	2	71	8,6
Total	14	491	

Fuentes: Instituto Alexander von Humboldt (2014), Alcaldía Municipal de Ráquira (2016), Consejo Municipal de Lenguaque (2012), Alcaldía de Ventaquemada (2016) y Alcaldía de Samacá (2012).

Con respecto a la población, esta creció entre 1999 y 2011, a un promedio 2,5%. De otro lado, las condiciones de vivienda están catalogadas como buenas por los materiales utilizados en su construcción, las unidades sanitarias con que cuentan y espacios complementarios utilizados para diferentes actividades, entre ellas almacenamientos de productos agrícolas. Es importante anotar que la población a 2015 se incrementó por encima del porcentaje registrado en el periodo mencionado antes (CORPOBOYACA, CAR y CAS 2015).

El incremento de la población se presenta en los cascos urbanos que genera una presión media sobre los recursos naturales (CORPOBOYACA, CAR y CAS 2015). Si embargo, para complementar la información que no está claramente presentada, en los documentos oficiales de las zonas rurales, se hizo el análisis de coberturas que es un indicador de la actividad antrópica que se desarrolla en Rabanal.

En la ponderación del indicador gobernanza, se toma como referencia la influencia que ejercen las comunidades frente a su territorio. Actualmente existen organizaciones que están en función de acceder y aprovechar los recursos naturales; por ejemplo, es el caso de la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego de Samacá, ASUSA, conformada por productores agrícolas asociados con el propósito de utilizar el agua para el riego de sus sistemas productivos; sin embargo, no ha tenido injerencia que se evidencie en velar por la conservación del Páramo Rabanal, más allá de tener un control de acceso a las zonas donde se encuentran los embalses Gachaneca I y Gachaneca II y hacer el mantenimiento regular a la infraestructura.

La producción agrícola se desarrolla en su mayor proporción bajo el esquema de sistemas tradicionales siguiendo el modelo de revolución verde. Producir más en el menor tiempo, usando insumos agrícolas, fertilizantes, plaguicidas y el empleo de maquinaria agrícola. En lo que corresponde a salud, educación y expectativa de vida de la población humana que habita el páramo, los valores están por debajo del área ideal (figura 6.5); por lo tanto, son indicadores que no tienen peso en este componente y están poco valorados; sin embargo, es sobre estos indicadores que se debería trabajar con mayor intensidad para mejorar a futuro la capacidad de adaptación. En educación, durante el desarrollo de esta investigación, no se presentaron o conocieron campañas especiales de capacitación con las comunidades en lo que tiene que ver con cambio climático; por lo tanto, no es un tema que haga parte de las prioridades actuales de los tomadores de decisiones a nivel municipal y regional.

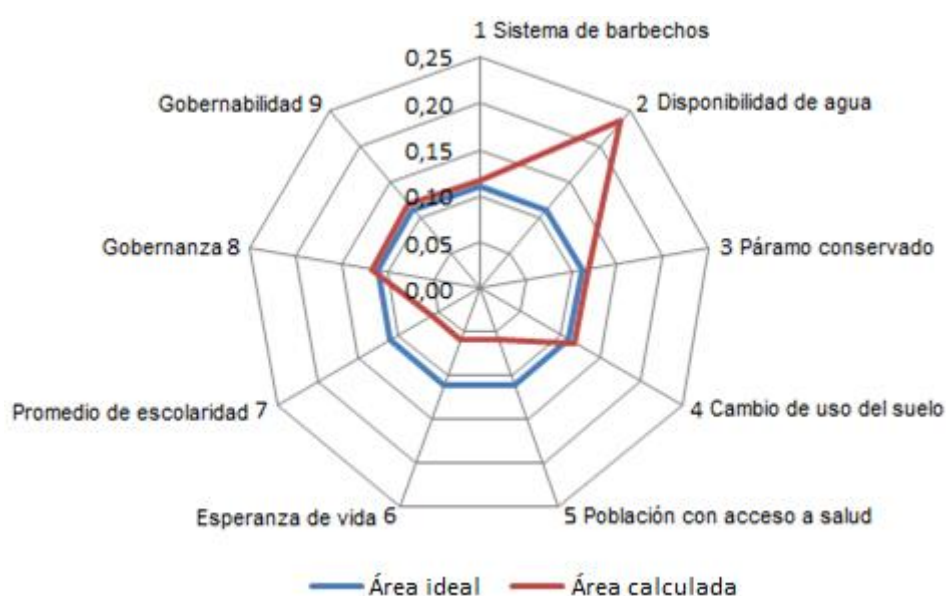


Figura 6.5 Representación gráfica de la evaluación de indicadores de capacidad de adaptación.

6.3.4 Evaluación de la Vulnerabilidad

La vulnerabilidad se calcula a partir de la obtención del índice de vulnerabilidad (IV) que se obtiene a su vez de la matriz general ajustada

(tabla 6.1), en la cual los indicadores están expresados en unidades de medida con respecto a una escala de calificación, que fue necesario normalizar.

El Índice de Vulnerabilidad se obtuvo reemplazando en la Ecuación 1 los valores de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de la siguiente manera:

$$IV = 0,34 + 0,36 - 0,30$$

$$IV = 0,40$$

Para obtener el valor de Exposición, se reemplazaron los valores en la Ecuación 2:

$$E = 0,07 + 0,04 + 0,09 + 0,09 + 0,05$$

$$E = 0,34$$

Para el valor de Sensibilidad, se reemplazaron los valores en la ecuación 3:

$$S = 0,05 + 0,04 + 0,07 + 0,07 + 0,05 + 0,07$$

$$S = 0,36$$

Para el valor de Capacidad de Adaptación, se reemplazaron los valores en la Ecuación 3:

$$CA = 0,04 + 0,07 + 0,04 + 0,04 + 0,02 + 0,02 + 0,02 + 0,04 + 0,04$$

$$CA = 0,30$$

El rango de vulnerabilidad para el Socioecosistema Páramo Rabanal está entre 0,3 y 1,0 por las siguientes razones:

El valor máximo del IV que se puede obtener es de 1,0 considerando que los indicadores de exposición y de sensibilidad alcanzan sus mayores valores en la escala de 1 a 5 y no hay indicadores evaluados que representen la capacidad de adaptación del sistema:

$$IV = 0,45 + 0,55 - 0$$

$$IV = 1,0$$

Por su parte, cuando el sistema no está expuesto a cambio climático representado por la variación en los valores de temperatura y precipitación, el valor del IV será el siguiente:

$$IV = 0,26 + 0,40 - 0,34$$

$$IV = 0,30$$

De acuerdo con el análisis, ponderación y calificación de los indicadores el índice de vulnerabilidad actual está en 0,4 que, si no se toman medidas a tiempo, este valor puede incrementarse y alcanzar valores cercanos al máximo (1,0) que probablemente se constituiría en una situación en la cual el socioecosistema esté totalmente transformado y no se contaría con coberturas características de páramo.

A partir de los datos encontrados y posibles de vulnerabilidad del sistema se estableció una escala de valoración tomando como referencia el valor mínimo posible y el máximo como se presenta en la tabla 6.6.

Tabla 6.6 Rangos establecidos por el autor para la interpretación de los valores de vulnerabilidad obtenidos.

Rango	Nivel de vulnerabilidad
< 0,34	Bajo
0,34 – 0,53	Medio
0,54 – 0,76	Alto
0,77 – 1,0	Muy Alto

El valor obtenido de la evaluación de vulnerabilidad del sistema socioecológico Paramo Rabanal es 0,4 que corresponde al nivel medio de

los rangos establecidos; sin embargo, es importante tener en cuenta, como se mencionó antes, que el valor mínimo posible es 0,3.

El valor puede resultar subjetivo; sin embargo, el sistema es vulnerable por las actividades que se realizan principalmente relacionadas con agricultura y minería, el valor mínimo del índice de vulnerabilidad es de 0,3. Valores que se pueden cambiar positivamente en función de la decisión por parte de las comunidades y de los entes gubernamentales, en otras palabras, que haya gobernabilidad y gobernanza, pero no sería menor a este valor y la vulnerabilidad ya no se puede reducir a 0.

6.3.5 Zonificación de la vulnerabilidad en el Páramo Rabanal

En la tabla 6.7 se presentan los resultados de vulnerabilidad (IV) de las zonas representativas por su cobertura. Estos índices se calcularon tomando como referencia la matriz general y en la cual se les dieron la calificación a los indicadores de acuerdo a las características de cada zona.

Tabla 6.7 Zonas representativas del Páramo Rabanal de acuerdo con la distribución por coberturas e índices de vulnerabilidad obtenidos por zona.

ZONA	COBERTURA (%)	IV calculado	Nivel de vulnerabilidad
Agrícola	34,7	0,47	Medio
Páramo conservado	61,6	0,20	Bajo
Plantaciones forestales	3,7	0,45	Medio
Minera (extracción de carbón y producción de coque) *	0,10	0,60	Alto

* Corresponde a la boca de mina (entrada del socavón),

Para obtener el IV de la zona agrícola se consideró que está expuesta a las variables climáticas igual que todo el sistema y en su máxima expresión a los factores que conllevan la producción agrícola, con influencia de la

minería y las plantaciones forestales, especialmente por el consumo de agua, de aquí que estos factores tengan influencia para determinar la exposición de esta zona. En cuanto su sensibilidad el sistema está expuesto también, en su máxima expresión, a las prácticas productivas agrícolas utilizadas en la región. En capacidad de adaptación lo que mayor peso tiene es la capacidad decisoria de las comunidades en este caso de hacer producción agrícola en el páramo y en una baja proporción la utilización de prácticas, que podrían estar más relacionadas con la sostenibilidad, como es el caso de la práctica de barbechos.

La zona conservada, que corresponde a páramo, ya representa menos del 50%; presenta el menor índice de vulnerabilidad (0,20). Está expuesta a las variables climáticas igual que todo el sistema y también a los sistemas de producción establecidos en todo el páramo, principalmente agricultura y minería; lo mismo para sensibilidad con un componente adicional que es la presencia y densidad de la población. Es importante mencionar que, como capacidad de adaptación, el tener área conservada de páramo genera las mejores posibilidades para contrarrestar efectos negativos a cambio climático, en este caso particular tiene un alto valor el indicador capacidad de gobernar, debido que contar con áreas conservadas corresponde a una decisión gubernamental a nivel regional representado por las corporaciones regionales CAR, Corpoboyacá y Corpochivor, entidades ambientales con jurisdicción el Páramo Rabanal. Un ejemplo importante es la creación, por decisión de Corpoboyacá, del Parque Natural Rabanal con 6.345 ha, de las cuales 4.530 corresponden a área de conservación estricta y 1.815 a la zona de amortiguamiento (AGS & CORPOBOYACA, 2015).

Así como la zona agrícola, la zona de plantaciones forestales presenta un alto valor del índice de vulnerabilidad (0,45), la razón es que los indicadores son similares, que se refleja en el resultado final, a los que están relacionados directamente con la explotación forestal.

Por último, la zona minera representada por la presencia de minas de extracción de carbón, en la modalidad de socavón, cuya boca de mina (entrada al socavón) está en el páramo y también por la presencia de los hornos para la producción de coque que en un análisis posterior se determinó que el área de influencia real de la minería es de 155,3 ha. que no es la más extensa en área, pero es la más intensa en actividad productiva. Esta zona que presenta el valor más alto de vulnerabilidad (0,60), está expuesta a las variables climáticas igual que todo el sistema y en su máxima expresión, a los factores relacionados con la producción minera, adicional la presencia de especies forestales que son una consecuencia de la actividad minera. De otra parte, la minería aumenta la sensibilidad del sistema, se están extrayendo componentes del sistema afectando su estabilidad y sumado a esto, el consumo excesivo del agua. Es importante mencionar que los hornos de coque están por debajo de la superficie del suelo en donde se generan temperaturas altas que pueden estar alrededor de 500°C. ocasionando en las zonas de influencia, la evaporación de grandes volúmenes del agua contenida en el suelo. Buytaert et al. (2014) menciona que, en el caso de la minería, es probable que el impacto ocasionado en el ecosistema haga que el impacto del cambio climático, por separado, sea irrelevante.

Los procesos de gobernabilidad y gobernanza, como indicadores, tienen una baja calificación, no hay una decisión clara ni por parte del gobierno ni de las comunidades frente a la minería en el Páramo Rabanal. Ruíz y Galicia (2016) mencionan, en relación con políticas de adaptación, que los municipios como unidades de observación tienen comportamientos heterogéneos en términos de políticas locales frente al cambio climático.

6.4 Discusión de resultados

Se mencionó que el valor obtenido de la vulnerabilidad puede ser subjetivo, estar sobrevalorado o subvalorado; sin embargo, es muy importante la decisión del investigador que conoce el sistema sobre el cual se está

evaluando. Los índices como lo expresa Ñanculeo (2014) son una representación empírica de un objeto de estudio y tienen que ver con la necesidad de cuantificar, de manera aproximada un fenómeno social o de otra naturaleza como un intento de traducir aspectos de una cualidad de un objeto o sistema hacia un sistema métrico sencillo y manejable.

La exposición y la sensibilidad son componentes de la vulnerabilidad que no se pueden cambiar, ya el efecto está hecho; aunque al largo plazo se podría hacer del sistema menos sensible si se impacta menos con actividades antrópicas pero que en cuanto a clima no hay nada que hacer además de las acciones de mitigación cuyo efecto también se notaría posiblemente en el largo plazo. En la evaluación de la vulnerabilidad climática del complejo *Espeletia* en el norte de los Andes, desarrollado por Valencia et al. (2020) encontraron que los factores que favorecen el potencial de biodiversidad fueron la diversidad, áreas protegidas y áreas boscosa alrededor, que demuestra que los esfuerzos que se hagan tendientes a la conservación pueden amortiguar el impacto del cambio climático en los páramos y mejorar su capacidad de adaptación y con respecto a los factores limitantes, en donde la intervención humana representa una amenaza directa, fueron la agricultura, la minería y densidad de la población. Resultados que están en concordancia, con lo encontrado en la presente investigación con respecto a los factores que favorecen la capacidad de adaptación como son las zonas conservadas o áreas protegidas y también con los que influyen negativamente como la agricultura y la minería en la capacidad de adaptación del sistema e incrementan el resultado final de la vulnerabilidad.

Las evaluaciones de vulnerabilidad no establecen prioridades o decisiones para acciones de gestión, presentan información que puede indicar donde se podrían realizar actividades para obtener más información sobre el estado de las especies o hábitats y sus respuestas a los cambios en el clima y con base en eso establecer opciones de adaptación (Joyce y Janowiak 2011). Sin embargo, a partir de los resultados encontrados el paso a seguir es

proponer estrategias y medidas para disminuir la vulnerabilidad como lo propone el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017) de los sistemas rurales entre otros, expuestos a las amenazas y perturbaciones climáticas e incluir medidas de adaptación para la conservación de ecosistemas vulnerables como es el caso de los páramos y lo más importante, priorizar acciones.

El área conservada de páramo genera las mejores posibilidades para contrarrestar efectos negativos a cambio climático, favorece el valor de capacidad de adaptación y disminuye la vulnerabilidad; por lo tanto sería importante contar con áreas de reserva de páramo conservado; sin embargo, en la región Andina la creación de nuevas reservas varía entre países y en muchos casos depende de los regímenes de tenencia de tierras, mayor pobreza, demanda por los recursos naturales y en general el modelo de desarrollo basado en el extractivismo (Buytaert et al., 2014)). Para el caso de Colombia, se suma a lo anterior, el fenómeno de los desplazamientos de personas por el conflicto armado que lleva muchos años y que tiene su origen también en procesos de tenencia de tierras y que desafortunadamente no ha terminado, inclusive con un acuerdo de paz en marcha. A pesar de lo expresado antes es importante resaltar el esfuerzo regional en este sentido, con la declaración del Parque Natural Rabanal, con un área de 6.345 ha en conservación, cuya importancia se vio reflejada en el valor de capacidad de adaptación obtenido en comparación a zonas degradadas.

Los procesos de gobernanza deben ir de la mano de la capacidad de gobernar por parte del estado, en todos sus niveles nacional, departamental y regional a partir del establecimiento de una normatividad y presencia consecuente con las características de estas regiones y la importancia estratégica de los páramos. Es importante considerar como lo expresan Correa et al., (2020) el crecimiento de la población que genera aumento en la demanda del agua lo cual ocasiona mayor presión sobre los recursos que

debe llevar a tomar mayor conciencia por parte de los tomadores de decisiones, sobre la vulnerabilidad de estos ecosistemas.

El uso de la práctica de barbecho como se presenta en el Páramo Rabanal puede contribuir a disminuir la agricultura intensiva favorecer la capacidad adaptativa y por lo tanto disminuir la vulnerabilidad de todo el sistema, en este caso según Salas-Zapata, et al. (2012). la capacidad adaptativa que se presenta es de cambio o de adaptación. Es importante aclarar que no se puede generalizar esta práctica debido a que en otras regiones el proceso es diferente. Por ejemplo, en Páramos del Ecuador, como lo reportan Aguilar y Ríos (2020), después de la explotación que puede durar de 3 a 4 años, se quema y abandona dando como resultado una sucesión secundaria con una funcionalidad limitada y la diversidad reducida, en este caso la capacidad adaptativa es de transformación (Salas-Zapata, et al. 2012).

No sólo se debe trabajar como lo expresa Azocar de la Cruz (2018) a partir de conocimientos políticos y científicos, se deben considerar los saberes y prácticas arraigadas de las comunidades, en este caso las que viven en el páramo y que lidian con los embates cambiantes de su entorno.

El índice de capacidad adaptativa según lo calculado por Valencia et al. (2020), para los complejos de Páramos localizados en la Cordillera Oriental, presentaron los valores más bajos ($\leq 0,57$) y se consideran como áreas de páramo más vulnerables en comparación a áreas de páramos ubicadas en las otras cordilleras o regiones. Es importante mencionar que el Páramo Rabanal hace parte de los complejos ubicados en la Cordillera Oriental en el cual, a partir de la metodología desarrollada en el presente trabajo, se obtuvo un índice de capacidad de adaptación de 0,30. A pesar que los dos valores no son comparables por los métodos utilizados, si permiten abrir la posibilidad de aplicar esta metodología en los demás complejos de páramos en el país. Sin embargo, algunos autores como lo mencionan Ruíz y Galicia (2016) ven necesario consolidar más el concepto de adaptación a partir de conceptos asociados además de vulnerabilidad, resiliencia y sustentabilidad,

para lo cual será fundamental aclarar y contextualizar estos dos últimos conceptos para los sistemas socioecológicos en el caso de los páramos.

6.5 Conclusiones

El índice de vulnerabilidad a cambio climático actual para el Páramo Rabanal, obtenido a partir de la presente investigación es 0,4, que está en un rango posible entre 0,3 y 1,0. Hay un efecto ejercido sobre este sistema que es frágil, que por más medidas relacionadas con capacidad de adaptación que se tomen no se puede bajar de este nivel, pero si orientar acciones para tratar de mantenerlo estable y garantizar la permanencia del Páramo Rabanal en sus características funcionales y estructurales.

Al realizar el análisis de vulnerabilidad por zonas del Páramo Rabanal de acuerdo con las actividades que se desarrollan y que se manifiestan en el análisis de coberturas, la zona minera es la que presenta el mayor valor de vulnerabilidad a pesar de que no es la mayor en extensión.

El área conservada del páramo presentó el menor valor de vulnerabilidad a cambio climático. Al tener un área conservada de páramo se generan las mejores condiciones para contrarrestar efectos negativos a cambio climático, sin embargo, por las actividades que se desarrollan en su entorno la vulnerabilidad puede aumentar en el tiempo.

Estudios como los realizados en el Páramo Rabanal sobre el proceso de sucesión secundaria a partir de la práctica de barbecho aportan al conocimiento en función de mejorar la capacidad adaptativa del sistema, lo cual será fundamental para la toma de decisiones tendientes a la conservación de los páramos.

Acciones relacionadas con gobernabilidad y gobernanza son importantes para lograr incorporar al sistema una mayor cobertura de áreas conservadas

que presenten conectividad entre ellas, acompañadas de acciones y decisiones desde la dimensión económica tendientes a disminuir la presión a través de la regulación de los sistemas productivos presentes en la región. Para esto es importante tener en cuenta que mejorar la capacidad adaptativa de los sistemas socioecológicos como lo mencionan Salas-Zapata et al. (2012), están en función que sean sistemas socialmente deseables y ecológicamente posibles.

6.6 Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Ráquira. (2016) Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019. “Porque Ráquira necesita seguir creciendo”. Alcaldía Municipal. Ráquira.
- Alcaldía de Samacá. (2012). Plan de desarrollo 2012-2015. Alcaldía Municipal. Samacá.
- Alcaldía Municipal de Ventaquemada. (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019. Diagnóstico para la formulación del Plan de Desarrollo del Municipio de Ventaquemada. Alcaldía Municipal. Ventaquemada.
- AGS y CORPOBOYACA. (2015). Formular el plan de manejo del Parque Natural Páramo de Rabanal y la delimitación de su área con función amortiguadora localizado en el municipio de Samacá en el departamento de Boyacá. Andean Geological Services, AGS. Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Corpoboyacá. Tunja.
- Azocar de la Cruz, G. (2018). Vulnerabilidad y resiliencia como condiciones de intervención de crisis socio-ecológicas. *Intervención* 8 (2):74-91.
- Bruno, S.M., Gagnon, A.S., & Doherty, R.M. (2012). Conceptual elements of climate change vulnerability assessments: a review. *International Journal of Climate Change and management* 4 (1):6-35.
- Buytaert, W., Sevink, J., Cuesta, F. (2014). Cambio climático: la nueva amenaza para los páramos. En <https://www.researchgate.net/publication/262675438>
- CDKN - AVA. (2013). Análisis interinstitucional y multisectorial de variabilidad y adaptación al cambio climático para el sector agrícola de la Cuenca

- Alta del Río Cauca, impactando políticas de adaptación. Metodología de análisis de vulnerabilidad para la Cuenca Alta del Río Cauca. Reporte Técnico. Climate and development Knowledge Network - CDKN y Agricultura y Adaptación – AVA. Disponible en: <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/02/Reporte-tecnico-final-AVA.pdf>.
- Consejo Municipal de Lenguazaque (2016). Acuerdo por el cual se modifica el Plan de Desarrollo 2016-2019. Consejo Municipal de Lenguazaque. Lenguazaque.
- CORPOBOYACA, CAR y CAS. (2015). Actualización POMCA Río Medio y Bajo Suarez. Documento Fase Diagnóstico. Resumen Ejecutivo. Bogotá.
- Correa, A., Ochoa-Tocachi, B., Birkel, C., Ochoa-Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., Buytaert, W. (2020). A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical páramos. Hydrological Processes. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13904>
- Franco, L., Delgado, J. & Andrade, G. (2011). Protocolo para la evaluación de la vulnerabilidad y resiliencia de los humedales Altoandinos frente al cambio climático global. Fundación Humedales - Ecopetrol. Bogotá.
- García, V.J., Márquez, C.O, Rodríguez, M.V., Orizco, J.J., Aguilar, C.D., Ríos, A. (2020). Ecosystems en ecuador's Southern Region: conservation State and Restoration. Agronomy 10 (1992). DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121922>
- GIZ. (2017). El libro de la vulnerabilidad. Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. Bonn. Disponible en: https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=269.
- INECC – PNUD. (2013). Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D.F.
- INSTITUTO ALEXANDER VON HUMOLDT. (2014). Páramos y sistemas de vida. Rabanal. Disponible en:

<http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/559-paramos-y-sistemas-de-vida-rabanal>, Acceso agosto 14 2018.

- IPCC. (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- Joyce, L.A., Janowiak, M.K. (2011). Evaluaciones sobre el cambio climático. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Washington. En: www.fs.usda.gov/ccrc/temas/evaluaciones/vulnerabilidad.
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Revista Colombiana d Geografía* 22(2): 17-33.
- Magrin, G.O. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39842/S1501318_es.pdf;jsessionid=70B2A52A6A4D108FB290F04BCDAA993E?sequence=1.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Política Nacional de Cambio Climático. Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. Bogotá.
- Ñanculeo, R.M. (2014). Construcción de índice de vulnerabilidad social para estudiantes preescolares de establecimiento subvencionados de Chile. Tesis de Grado de Magister. Programa de Magister en Investigación Social y desarrollo. Universidad de Concepción. Concepción.
- Pabón, J.D. (2012). Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad el siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Rev. Acad. Colom, cienc. exact.fis.nat.* 36 (139): 261-278.
- Pérez, M.A., Navarro, H.F., Alvarez, R.Y. (2016). Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad social en poblaciones afectadas por el peligro de inundación: el caso de las águilas por el peligro de inundación: el caso de las águilas (Murcia, sureste ibérico). *Documents d'Analisi Geografica* 62 (1): 133-159.

- Pérez, M.A. (2012). La aplicación de los gráficos radiales en el análisis contable del sector pesquero en Cataluña: gráfico radial y análisis contable. *Revista Internacional de economía y Gestión de las Organizaciones* 1 (2): 99-128.
- PNUD. 2011. Formulando escenarios de cambio climático para contribuir con estrategias de desarrollo adaptadas al clima. Una guía para practicantes. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. New York. En: [file:///C:/Users/luishesh/Downloads/Formulating-SPN-web-final_11Nov11%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/luishesh/Downloads/Formulating-SPN-web-final_11Nov11%20(1).pdf).
- Postigo, J.C. (2013). Descuentos y potenciales sinergias entre las respuestas de campesinos y autoridades regionales frente al cambio climático en el sur andino peruano. En: Postigo, J.C. (Ed.). *Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria*. (pp.181-216). Santiago de Chile: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO.
- Prieto-Rozo, A. (2013). Cultura y vulnerabilidad en el contexto de cambio climático (Páginas 47-69) En: Ulloa A., Prieto-Rozo, A. (editores). *Culturas, conocimiento, políticas y ciudadanías en torno al cambio climático*. Colección Perspectivas Ambientales, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Ruíz, R.N., Galicia, L. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 89, 137-153.
- Salas-Zapata, W., Ríos-Osorio, L., Alvarez-Del Castillo, J. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral* 22. En: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/15788/Marcoconceptual.pdf>
- Valencia, J.B., Mesa, J., León, J.G., Madriñán, S., Cortés, A.J. (2020). Climate vulnerability assesment of the *Espeletia* Complexo on páramo

sky islands in the Northern Andes. *Frontiers in Ecology and Evolution*.

DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.565708>

Valencia, R.M., Figueroa, C.A., Ruíz, O.D., Otero, S.J., Martínez, I.J., Ceballos, S.V., Joaquín, D.S. & Gonzáles, Q.D. (2014). Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 13 (25): 29-43.

7. CAPITULO 4. REFLEXIONES FINALES

Los páramos socioecosistemas estratégicos principalmente por su contribución en la regulación hidrológica de las regiones, están afectados por un conjunto de factores que interactúan, entre los que tenemos la explotación de recursos naturales como el agua, el suelo y el subsuelo, las actividades agrícolas, ganaderas y mineras. En los páramos, su régimen climático está expuesto a variaciones como consecuencias de la variación local, variabilidad climática y por efectos de cambio climático, que alteran su constitución estructural y funcional.

La variabilidad climática corresponde a las fluctuaciones alrededor de una condición predominante con respecto a los valores promedio, observada durante periodos de tiempo relativamente cortos y cuya causa se da en las fluctuaciones en términos de energía solar que entra al planeta o fenómenos que se registran en diferentes zonas de la tierra como por ejemplo fenómenos del Niño y la Niña que se presentan en el Océano Pacífico y que puede presentarse en una escala de tiempo menos a 10 años, mientras que el cambio climático corresponde a modificaciones de las condiciones predominantes en el largo plazo, en la escala de décadas, siglos, milenios (Pabón 2011). El clima futuro dependerá del calentamiento debido a las emisiones antropogénicas que se vienen dando desde el pasado, así como de las emisiones antropogénicas futuras y la variabilidad climática natural que se puede determinar en el corto plazo (interanual a decenal y cambio climático en una escala mayor de tiempo (3 o 4 décadas) (IPCC 2014a).

Las diferentes formas de explotación de recursos inciden en la variación del clima, la modificación del paisaje, el reemplazo de comunidades vegetales propias de estos ecosistemas por otras y la fragmentación. La relación evaporación transpiración se ven alteradas; por ejemplo, las plantaciones forestales consumen mayor cantidad de agua que las plantas nativas del

ecosistema paramuno. La explotación minera de carbón y canteras alteran la topografía que, a su vez, influye en la dirección y velocidad del viento; por lo tanto, las corrientes de aire cargado de humedad que están relacionadas directamente con los regímenes de precipitación.

El páramo Rabanal es un caso particular en el cual se visualizan y se pueden contrastar las afectaciones a una escala que permite comprender las problemáticas presentadas y tener una visión integral partiendo de los análisis retrospectivos y prospectivos. Se encuentran representadas la mayoría de problemáticas que se presentan en los páramos andinos, especialmente de Colombia: producción agrícola intensiva, explotación forestal, explotación ganadera, utilización del recurso hídrico tanto para consumo humano directo como para su utilización en los diferentes sistemas de producción, explotación minera, en este caso, de carbón, construcción de infraestructura como carretera, embalses y la producción de coque, materia prima para la producción del acero.

Se encontró que hay variación climática (Capítulo 1); aunque las tendencias de las variables climáticas, principalmente temperatura y precipitación analizadas no están claramente definidas y generalizadas o no en la magnitud que la literatura lo plantea; por ejemplo, de 0,05 a 0,15°C por decenio (IPCC 2014a); sin embargo, la percepción de los habitantes es que son más recurrentes los eventos extremos, como temperaturas muy altas o muy bajas, que pueden causar fenómenos que los afecten directamente y los tengan en la memoria, por esta razón y posiblemente estas variaciones extremas quedan enmascaradas en los valores medios o acumulados y no se puede determinar una variación en cualquier escala. También son conscientes de la transformación de su entorno y que dicha transformación está relacionada con las variaciones que ellos han percibido a través del tiempo y que actualmente están viendo los efectos.

La degradación del páramo Rabanal, expresada en términos de cobertura (Capítulo 2), está alrededor del 30% en el tiempo analizado, esto significa

que, en un periodo aproximado de 40 años, se presentó una transformación del paisaje pasando de un ecosistema natural o páramo en estado de conservación a un espacio en el cual lo que predomina son los sistemas de producción. Esta transformación tiene relación con la variación en el clima; sin embargo, definir cual variación se debe a esta transformación y cual a un efecto de cambio global a mayor escala es imposible; sin embargo, tanto esta transformación como los otros efectos se complementan y muestran una situación delicada en el momento que sea necesario tomar definiciones. (Rodríguez-Eraso (2010) establecen que la variación climática en la escala local es el resultado de la interacción de procesos globales, regionales y locales; sin embargo, aislar las señales local y global de cambio climático es complejo por tal razón no se pueden atribuir los cambios observados únicamente a uno de los factores, sino a la relación existente entre estos. La variabilidad puede deberse a procesos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento natural o antropogénico, como el uso del suelo, que es la variabilidad externa (IPCC 2014a)

En el Páramo Rabanal la transformación por el establecimiento de sistemas agropecuarios es más evidente y cuantificable, pero la explotación minera no. Como se mencionó, en el análisis de coberturas se visualiza y se estima el área que corresponde a la boca de mina o apertura del túnel; sin embargo, qué tanto se extiende subterráneamente no se determinó y los impactos asociados es difícil establecerlos. Por su parte, en los hornos para la producción de coque se llegan a temperaturas cercanas a los 500°C con el propósito de lograr una deshidratación del carbón que ha sido extraído en la misma zona, material que lo ubican por debajo de la superficie del suelo, generando con este alto incremento de la temperatura, una evaporación del agua contenida en el suelo que por supuesto afecta el ciclo hidrológico de la región. En lugar de captar el agua por acción de las lluvias, se pierde en forma de vapor por las altas temperaturas.

El clima en la escala local hace referencia a las condiciones atmosféricas predominantes en un lugar donde el uso del suelo (cobertura natural o producto del ser humano) juega un papel significativo en la modificación de las condiciones de fondo generadas a nivel global y regional, entendiendo que el tipo de cobertura está asociado con los fines sociales y económicos de la comunidad humana. (Rodríguez-Eraso et al., 2010). Cualquier evaluación de la expresión local del cambio en el clima futuro debe tener en cuenta el uso de la tierra en las prácticas locales y darán pautas para avanzar en el conocimiento de la vulnerabilidad de estos ecosistemas a diferentes procesos de cambio con sus implicaciones ambientales, económicas y culturales.

Un aporte de la presente investigación, además de los resultados generados, es la selección y valoración de indicadores para determinar la vulnerabilidad del sistema a efectos de cambio climático, los cuales quedan disponibles para que se tomen decisiones o se complementen con otros y contribuyan a tener una visión amplia y más completa. En este sentido y con base en estos resultados tomar al Páramo Rabanal como un referente, en el cual se pueda establecer un plan piloto tendiente a establecer medidas de adaptación al cambio climático que se puedan replicar y evaluar en los demás páramos de Colombia, con problemáticas similares y con efectos en diferentes escalas.

En Rabanal se presentan unos procesos locales representados en el cambio del uso del suelo a través del tiempo que se evidenciaron a través del análisis de coberturas claramente identificables; sin embargo establecer cuál es su contribución en la variación en el clima es muy difícil, más aún separarlas de los procesos a mayor escala, principalmente globales y como concluyen Rodríguez-Eraso et al (2010): “la diversidad en la respuesta a los cambios de uso del suelo pueden resultar de la interacción de todos los cambios en diferentes lugares de la región”.

Expresiones como *“la amenaza extrínseca más grave para los ecosistemas de alta montaña es el cambio climático”* como lo mencionan Morales-Betancourt y Estévez-Varón (2006) es frecuente leerla en diferentes publicaciones o escucharla también en eventos académicos; sin embargo, con los resultados encontrados en esta investigación, se puede afirmar que es la intervención antrópica representada en la explotación de los recursos naturales del páramo, la que está llevando a la degradación de estos sistemas que, si se suma el efecto directo producido por cambio climático, el impacto causado se magnifica y cada vez, estaremos más próximos de llegar al punto de no retorno.

El Páramo Rabanal es susceptible a sufrir daños (es vulnerable) por efectos del cambio climático; sin embargo, de acuerdo con lo evaluado, no se ha llegado al punto de no retorno y es posible revertir la situación, para lo cual se necesita de una decisión política partiendo de lo local, luego lo regional y trascendiendo a lo nacional considerando procesos de gobernanza y gobernabilidad. Se debe iniciar por la demarcación de una zona de protección mayor a la que existe actualmente y todas las comunidades se comprometan con la conservación y con el tiempo lograr incrementar esta zona de protección y en lo posible contar, en el corto plazo, por lo menos que un 50% del área del páramo Rabanal, corresponda a zona protegida. Para esto será necesario incluir zonas degradadas y permitir que se dé el proceso natural de restauración (sucesión ecológica). Para lograr este propósito será necesario llegar a acuerdos directamente con las comunidades que habitan el páramo y se constituyan en los actores principales dentro de este esquema de conservación, de lo contrario, (percepción del autor de la investigación), el proceso fracasará como fracasó la delimitación, ordenada por la Corte Constitucional, de los páramos de Colombia entre los años 2016 y 2018. Hace aproximadamente 19 años, se propuso delimitar zonas extensas de páramo dedicadas exclusivamente a la conservación, que en su momento se consideró como su función primaria y

que se sugería se incluyan dentro de éstas, también zonas degradadas (Estupiñán 2001).

Los valores obtenidos de vulnerabilidad de todo el sistema y de las zonas en particular son producto de, a través del conocimiento de la región, de establecer unos indicadores, validarlos, seleccionarlos y ponderarlos, que para la zona de acuerdo a lo planteado, resultaron adecuados y a partir de los cuales se pueden establecer líneas de trabajo o contribuir en la generación de políticas para evitar que la degradación continúe en su dinámica y se cuente con una gran zona conservada que contribuya a la estabilidad tanto de este ecosistema llamado Páramo Rabanal como de los demás que depende de éste.

Una medida de adaptación al cambio climático como lo expresa el IPCC (2014b) es reducir la vulnerabilidad a la variación climática actual, lo cual se lograría, para el caso del Páramo Rabanal, si se reduce el forzamiento antropogénico expresado por la dinámica de los sistemas de producción que ejercen una presión fuerte sobre el sistema socioecológico.

Expresar los valores de vulnerabilidad en el rango de 0,3 y 1,0 significa que se puede incrementar hasta ese valor máximo y que dependerá de las acciones que se tomen en lo local, regional y nacional y por supuesto lo global por la influencia del cambio climático. También el valor mínimo indica que no se podrán obtener valores de vulnerabilidad menores debido a que hay un efecto producido en el sistema y que resulta irreversible, pero es el momento de tomar decisiones para mantenerlo en sus valores mínimos lo que representaría de alguna manera un control de la vulnerabilidad.

Importante tomar decisiones también para disminuir la presión en el sistema a partir de los valores zonificados. En este caso se debería prohibir definitivamente la explotación minera en el territorio Páramo Rabanal y reubicar las plantas (hornos) productoras de coque que ejercen un impacto fuerte en el ecosistema. Con respecto a los sistemas de producción

agropecuaria, incentivar la actividad de los productores a pequeña escala y la utilización de tecnologías sostenibles como por ejemplo el uso de barbechos, cuyos beneficios se demostraron y quedaron consignados en la investigación desarrollada por Licona (2018) que hizo parte de la presente investigación y desestimular, con el propósito de disminuir el área dedicada en el Páramo Rabanal a la agricultura intensiva bajo el esquema de revolución verde y lograr bajar el nivel de vulnerabilidad y aumentar el área dedicada a la conservación, que de acuerdo al valor obtenido en la zonificación, es la más representativa que puede contribuir en esta disminución de la vulnerabilidad.

7.1 Referencias Bibliográficas

- Estupiñán, L.H. (2001). Los páramos ecosistemas para conservar. Revista U.D.C.A, Actualidad y Divulgación Científica. 4(1):7-12.
- IPCC. (2014a). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC. Ginebra.
- IPCC. (2014b). Cambio climático 2014. Impactos, Adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- Licona, L.S. (2018). Práctica cultural de barbecho en el Páramo Rabanal y su relación con la recuperación del suelo. (Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. Bogotá.
- Morales-Betancourt, J.A., Estévez-Varón, J.V. (2006). El Páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? Revista Luna Azul (22):39-51.
- Pabón, J.D. (2011). El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de

Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá.

Rodríguez-Eraso N., Pabón-Caicedo, J.D., Bernal-Suarez, N.R., Martínez-Collantes, J. (2010). Cambio climático y su relación con el uso de los suelos en los Andes Colombianos. Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se puede inferir que el páramo analizado fue sometidos a presión antrópica desde antes de 1980, ya que todos muestran actividades rurales, especialmente agropecuarias en sus alrededores.

Las actividades antrópicas generaron un mosaico diverso de coberturas de rurales, que dieron paso a otro aún mayor de coberturas artificializadas como las zonas mineras, disminuyendo los valores de cobertura de paramo propiamente dicho.

Se recomienda para próximas investigaciones multitemporales realizar un estudio con ventanas de tiempo más pequeñas en comparación al realizado en el presente trabajo en cuanto a los periodos considerados y hacer análisis de coberturas entre capas físicas como es geomorfología o fisiografía. Adicionalmente, se propone hacer un análisis de métricas del Páramo Rabanal para interpretar como los parches de cobertura tienen influencia en la dinámica del sistema socioecológico.

La manera como está organizado políticamente Colombia que no necesariamente está relacionado con lo geográfico y ambiental sumado a los intereses económicas en una región específica es un factor que puede tener influencia en la vulnerabilidad de los sistemas, es el caso del Páramo Rabanal, en el cual tienen jurisdicción dos departamentos, Boyacá y Cundinamarca, 5 municipios Samacá, Ventaquemada, Ráquira,

Lenguazaque y Villapinzón y tres corporaciones regionales como CAR, Corpoboyacá y Corpochivor, dificulta tener manejo integral. Es el caso del Parque Natural Regional Páramo Rabanal, creado en jurisdicción del municipio de Samacá por parte de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá, Corpoboyacá. Acuerdo No. 30 de 2016 (que modifica el acuerdo 026 de 2009) “por el cual se declara y alindera el Parque Natural Regional Rabanal, en el municipio de Samacá en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá, 2016). Según Zuleta (2012) estas zonas de reserva no suman más del 18% del territorio; el restante, al no ser considerada área de reserva, puede ser destinada a actividad minera y otras actividades productivas, como se pudo comprobar a lo largo de la presente investigación y que corresponde a lo que realmente está sucediendo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change* 16: 268-28.
- Africano, K., Cely, G. & serrano, P. (2016). Potencial de captura de CO₂ asociado al componente edáfico en páramos Guatavita-La Rusia, departamento de Boyacá, Colombia. *Perspectiva Geográfica*. 21 (1): 91-110.
- Agencia Nacional de Minería. (2015). Informe de Gestión. Agencia Nacional de Minería. Bogotá.
- AGS y CORPOBOYACA. (2015). Formular el plan de manejo del Parque Natural Páramo de Rabanal y la delimitación de su área con función amortiguadora localizado en el municipio de Samacá en el departamento.
- Alcaldía de Samacá. (2012). Plan de Desarrollo 2012-2015 “Comprometidos con Samacá – Boyacá”. Alcaldía Municipal de Samacá. Samacá, Colombia.
- Alcaldía Municipal de Ráquira. Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019. “Porque Ráquira necesita seguir creciendo”. Alcaldía Municipal. Ráquira.
- Alcaldía Municipal de Ventaquemada. (2016). Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019. Diagnóstico para la formulación del Plan de Desarrollo del Municipio de Ventaquemada. Alcaldía Municipal. Ventaquemada.
- ASUSA. 2013. Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de Samacá. Boletín Informativo. Samacá, Colombia.
- Avellaneda, A. (1998). Limitaciones en la aplicación de la normativa ambiental para la gestión en páramos. En Ministerio del Medio Ambiente, ICFES y Programa BID (Comp.). Curso Caracterización y manejo de zonas de páramos. Villa de Leyva, Colombia.

- Azocar de la Cruz, G. (2018). Vulnerabilidad y resiliencia como condiciones de intervención de crisis socio-ecológicas. *Intervención* 8 (2):74-91
- Baca, A.E. (2014). Reflexiones sobre los procesos de ocupación de los páramos. *Revista U.D.C.A, Actualidad y Divulgación Científica* 17(1):217-226.
- Bates, B.C., Kundzewics, Z.W., Wu, S. & Palutikof, S. P. (Eds.), (2008). *Climate Change and water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva.
- Berkes F.& Folke C. (1998). *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*, Cambridge University. Cambridge.
- Blanco, W.G. y Fuenzalida, M.I. (2013). La construcción de agendas científicas sobre cambio climático y su influencia en la tetrterritorialización de políticas públicas: reflexiones a partir del caos chileno. En: Postigo, J.C. (Ed.). *Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria*. (pp.75-104). Santiago de Chile: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO.
- Bonebrake, T.C., Guo, F., Dingle, C., Baker, D.M., Kitching, R., Ashton, A. (2019). Integrating proximal and horizon threats to biodiversity for conservation. *Trends in ecology & Evolution*. 20 (20): 1-8.
- Bonilla-Ovallos, C. y Mesa, O.J. (2017). Validación de la precipitación estimada por modelos climáticos acoplados del proyecto de intercomparación CMIP5 en Colombia. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 41(158): 107-118.
- Borrás, L.M., Galindo, G.A. & Triviño, G. (2010). Influencia de los patrones de uso actual de la tierra sobre la dinámica de la vegetación en el Páramo de Rabanal, vereda San Antonio, municipio de Guachetá. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 1 (2): 65-75.
- Bruno, S.M., Gagnon, A.S., & Doherty, R.M. (2012). Conceptual elements of climate change vulnerability assessments: e review. *International Journal of Climate Change and management* 4 (1):6-35.

- Buytaert, W., Sevink, J., Cuesta, F. (2014). Cambio climático: la nueva amenaza para los páramos. En <https://www.researchgate.net/publication/262675438>
- Buytaert, W., De Bièvre, B. (2012). Water for cities. The impact of climate change and demographic growth in the tropical Andes. *Water Resources Research*. 48. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011WR011755>
- Buytaert, W., Iñiguez, V. & De Bièvre. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251 (1-2), 2-30.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre B., Cisneros, F., Wyseure G. & Deckers, J., Hofstede R. (2006). Human impact on the hydrology of Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53-72.
- Cantor, G.D. (2011). Evaluación y análisis espacio temporal de tendencias de largo plazo en la hidroclimatología colombiana (Tesis). Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 83p.
- Castañeda-Martín, A.E., Montes-Pulido, C. (2017). Carbono almacenado en páramo Andino. *Ciencias Agrícolas* 13 (1): 210-221.
- Castaño-Urbe, C. (2002) Conclusiones y recomendaciones del Simposio “El Cambio Climático” y su potencia impacto en los Paramos. *Memorias del congreso Mundial de Páramos*, Tomo I. 160-165.
- CDKN - AVA. (2013). Análisis interinstitucional y multisectorial de variabilidad y adaptación al cambio climático para el sector agrícola de la Cuenca Alta del Río Cauca, impactando políticas de adaptación. Metodología de análisis de vulnerabilidad para la Cuenca Alta del Río Cauca. Reporte Técnico. Climate and development Knowledge Network - CDKN y Agricultura y Adaptación – AVA. Disponible en: <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/02/Reporte-tecnico-final-AVA.pdf>.
- Celleri, R., & Feyen, J. (2009). The hydrology of tropical andean ecosystems: Importance, knowledge status, and perspectives. *Mountain Research and Development* 29 (4): 350-355.

- Consejo Municipal de Lenguazaque (2016). Acuerdo por el cual se modifica el Plan de Desarrollo 2016-2019. Consejo Municipal de Lenguazaque. Lenguazaque.
- Congreso de Colombia. (2018). Ley 1930 del 27 de julio de 2018, por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia. Congreso de la República de Colombia. Bogotá.
- CORPOBOYACA, CAR y CAS. (2015). Actualización POMCA Rio Medio y Bajo Suarez. Documento Fase Diagnóstico. Resumen Ejecutivo. Bogotá.
- Correa, A., Ochoa-Tocachi, B., Birkel, C., Ochoa-Sánchez, A., Zogheib, C., Tovar, C., Buytaert, W. (2020). A concerted research effort to advance the hydrological understanding of tropical páramos. Hydrological Processes. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.13904>
- Cortés-Duque, J., Sarmiento, C. (Eds.) (2013). Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá.
- Chacón, C.P. & Postigo, J.C. (2013). Cambio climático, Riesgo o comunidad en la crisis ambiental (Páginas 125-146) En: Postigo, J.C. (editor). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO. Santiago de Chile.
- Daly, K.J. (2007). Qualitative methods for family studies & human development. University of Guelph Canada. Sage Publications. Thousand Oaks, Ca.
- De Bièvre, B. Bustamante, M., Buytaert, W., Murtinho, F. & Armijos, M.T. (2012). Síntesis de los impactos de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos en los Andes Tropicales y las Estrategias de adaptación desarrolladas por los pobladores. (Págs. 37-57). En: Cuesta, F., Bustamante, M., Becerra, M.T., Postigo, J. (editores.)

- Panorama Andino de cambio climático: Vulnerabilidad y adaptación en los Andes Tropicales. CONDESAN, AGCAN. Lima.
- Díaz-Granados, M.A.; Navarrete, J.D. y Suarez, L.T. (2005). Páramos: Hidrosistemas sensibles. *Revista de Ingeniería*, 22, 64-76.
- DNP-BID (2014). Impactos económicos del cambio climático en Colombia – Síntesis. Bogotá. 162p.
- Espinosa, M.S., Espinosa, R.A. (2017). Problemática ambiental Páramo de Rabanal en Samacá: Visión desde la Asociación de Usuarios del Distrito de Adecuación de Tierras de Samacá, (ASUSA). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). Tunja. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/327977614>
- Estupiñán, L.H. (2002). Estudio del impacto causado en la vegetación nativa por el establecimiento de plantaciones de pino en el Páramo de Gachaneca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 5(1), 31-41.
- Estupiñán, L.H. (2001). Los Páramos, ecosistemas para conservar. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 4(1), 7-12.
- FAO. (2012). FAO's current engagement in sustainable mountain development. *International Mountain society (IMS)* 2 (32):226-230.
- Foley, J.A., De Fries, R., Asner, G., Gordon, C.B., Carpenter, S.R., Stuart, C.F., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A, Kucharik, C.J., Monfreda, Ch., Patz, J.A., Prentice, C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. (2005). Global consequences of land use. *Science* 309, 570-574.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmquist, T., Gunderson, L., Holling, C., Walker, B. & Svedin, U. (2002). Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. The Environmental Advisory Council to the Swedish Government. Stockholm.
- Franco, L., Delgado, J. & Andrade, G. (2011). Protocolo para la evaluación de la vulnerabilidad y resiliencia de los humedales Altoandinos frente al cambio climático global. Fundación Humedales - Ecopetrol.

- García, V.J., Márquez, C.O, Rodríguez, M.V., Orizco, J.J., Aguilar, C.D., Ríos, A. (2020). Ecosystems en ecuador's Southern Region: conservation State and Restoration. *Agronomy* 10 (1992). DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121922>
- Geary, M. (2013). Relevancia de la gestión de los residuos sólidos en las políticas urbanas sobre cambio climático. Lecciones de un caso de estudio (Puente Gallego, Rosario 1995-2003) (Páginas 149-180). En: Postigo, J.C. (editor). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO. Santiago de Chile.
- GIZ. (2017). El libro de la vulnerabilidad. Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad. Bonn. Disponible en: https://www.adaptationcommunity.net/?wpfb_dl=269.
- Gómez-Sánchez, C.E. (2002) Cambio climático y degradación de suelos del Páramo Colombiano. Memorias del congreso Mundial de Páramos, Tomo I. 72-79.
- Gonzáles, M.A. (2003). Los paradigmas de investigación en las ciencias sociales. *ISLAS*, 4(138):125-135.
- Gonzáles, F. & Cárdenas, F. (1995). El páramo un paisaje deshumanizado: El caso de las provincias del Norte y Gutiérrez (Boyacá-Colombia). En: Reyes, P., y J. Molano (editores). El páramo, Ecosistema de Alta Montaña. Serie Montañas Tropoandina, Vol. 1. Fundación Ecosistemas Andinos. Bogotá.
- Gonzáles-Gaudiano, E. (2012). La representación social del cambio climático. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*. 17 (55): 1035-1062.
- Greenpeace (2013). Páramos en peligro. El caso de la minería de carbón en Pisba. En: <http://greenpeace.co/pdf/paramos/Informe%20P%C3%A1ramos%20en%20peligro.pdf>
- Guhl, E. 1982. Los páramos circundantes de la Sabana de Bogotá. Jardín Botánico "José Celestino Mutis". Bogotá.

- Guillaumont and Simonet. (2011). Designing an index structural vulnerability to climate change. Foundation Pour Les Etudes et Recherches sur le development International. Paris.
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco., Torres, F., Ulloa, J., Vásquez, A. & Cerra, M. (2014). Los páramos andinos ¿Qué sabemos? Estado del conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. UICN. Quito.
- Hofstede, R. (2014). La importancia hídrica del Páramo y aspectos y su manejo. Proyecto Ecología del Páramo y Bosques Andinos. Quito: EcoPar. Quito.
- Hofstede, R., Coppus, R., Váscquez, P.M., Segarra., Wolf, J., Servink, J. (2002). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el ecuador. Ecotrópicos 15 (1):3-18.
- Holling C. S. (2001). Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. Ecosystems, 4(5), 390-405.
- Hurtado, M.G. (2011). Análisis del comportamiento promedio y tendencias de largo plazo de la temperatura máxima media para las regiones hidroclimáticas de Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Bogotá.
- IAvH, CAR, CORPOBOYACA, CORPOCHIVOR. (2008). Estudio sobre el estado actual del Macizo Páramo Rabanal. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH), Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá), corporación Autónoma de Chivor (Corpochivor). Bogotá.
- INSTITUTO ALEXANDER VON HUMOLDT. (2014). Páramos y sistemas de vida. Rabanal. Disponible en: <http://www.humboldt.org.co/es/i2d/item/559-paramos-y-sistemas-de-vida-rabanal>, Acceso agosto 14 2018.
- IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra: Metodología CORINE LAnd Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogota: IDEAM.

- INECC – PNUD. (2013). Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D.F.
- IPCC. (2019). Calentamiento global de 1,5°C. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- IPCC. (2014). Cambio Climático 214: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- IPCC. (2013). Cambio climático. Bases físicas. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- IPCC. (2012). Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Londres.
- IPCC. (2007). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Ginebra.
- Joyce, L.A., Janowiak, M.K. (2011). Evaluaciones sobre el cambio climático. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Washington. En: www.fs.usda.gov/ccrc/temas/evaluaciones/vulnerabilidad.
- Kim, S. (2003). Research paradigms in organizational learning and performance: Competing modes of inquiry, Information Technology, Learning, and Performance Journal, 21(199):9-18.

- Lambert, A. (2003). Valoración económica de los humedales: un componente importante de las estrategias de gestión de los humedales a nivel de las cuencas fluviales. Convención de Humedales RAMSAR. Recuperado de: [www://ibcperu.org/doc/isis/8022.pdf](http://ibcperu.org/doc/isis/8022.pdf).
- Lampis, A. (2013). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. *Revista Colombiana d Geografía* 22(2): 17-33.
- Leff, E. (2005). Complejidad, racionalidad ambiental y diálogo de saberes. Centro Nacional de Educación Ambiental. Madrid.
- Lembrechts, J.J., Lenoir, J. (2020). Microclimatic conditions anywhere at any time. *Global Change Biology*, 26(2): 337-339. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14942>
- Licona, L.S. (2018). Práctica cultural de barbecho en el Páramo Rabanal y su relación con la recuperación del suelo. (Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales). Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. Bogotá.
- Luteyn, J.L., Balsley, H. (Eds). (1992). Páramo: an Andean ecosystem under human influence (pp. 1-14). Academic Press. London.
- Llaca, T. (2005). El aspecto cultural de la conservación *in situ* de los cultivos nativos en el Perú. *Rev. Est. Exp. Agr. Andenes*. Cuzco 3(5):6-7.
- Llambí, L.D., Soto, A., Celleri, R., De Bièvre, B., Ochoa, B., Borja, P. (2012). Ecología, hidrología y suelos de páramos. Proyecto Páramo Andino. Quito.
- Lloret, F. (2012). Vulnerabilidad y resiliencia de ecosistemas forestales frente episodios extremos de sequía. *Ecosistemas* 21(3):85-90.
- Magrin, G.O. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39842/S1501318_

es.pdf;jsessionid=70B2A52A6A4D108FB290F04BCDAA993E?sequence=1.

- Marquis, G., Baldasaarri, T., Hoffer T., Romeo, R. & Wolter P. (2012). FAO's current engagement in sustainable mountain development. *Mountain Research and Development*. 32(2), 226-230.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington.
- Minaya-Maldonado, V.G. (2016). *Ecohydrology of the Andes Páramo Region*. Disertation. Delft University of Technology / UNESCO-IHE. Liden (The Netherlands).
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Política Nacional de Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible. Bogotá. 290 p.
- Morales-Betancourt, J.A., Estévez-Varón, J.V. (2006). El Páramo: ¿ecosistema en vía de extinción? *Revista Luna Azul* 22:1-13.
- Moreno, A. (2018). Cifras y datos sobre la producción de carbón en Colombia 2000-2017. *Ciencia Política* 13 (25):93-105.
- Moreno, C. y Mora-Osejo, L. (1994). Estudio de agroecosistemas de la región de Sabaneque (Municipio de Tausa Cundinamarca) y algunos de sus efectos en vegetación y el suelo. En: Mora-Osejo, L.; Sturm, H. (Eds.). *Estudios ecológicos del Páramo y Bosque Altoandino*. Cordillera Oriental de Colombia. Tomo II, Colección Jorge Álvarez Lleras, No. 6 (pp.563-582). Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Murtinho, F., Taque, C., De Bièvre, B., Eakin, H. & López-Carr, D. (2013). Water scarcity in the Andes: a comparison of local perceptions and observed climate, land use and socioeconomic changes. *Human. Ecol.* 41: 667-681.
- Ñanculeo, R.M. (2014). *Construcción de índice de vulnerabilidad social para estudiantes preescolares de establecimiento subvencionados de Chile*. Tesis de Grado de Magister. Programa de Magister en

- Investigación Social y desarrollo. Universidad de Concepción. Concepción.
- ONU. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Nueva York: ONU.
- Ortega, U.T., Mastrangelo, M.E., Villarroel, T.D., Piaz, A., Vallejos, M., et al. (2014). Estudios transdisciplinarios en socio-ecosistemas: reflexiones teóricas y su aplicación en contextos latinoamericanos. *Investigación Ambiental*. 6 (2): 151-164.
- Ortiz, L.A. & Reyes, B.M. (2009). Paramos en Colombia, un ecosistema vulnerable. Observatorio, Grupo de estudios en Economía Política y Medio Ambiente. Escuela de economía Universidad Sergio Arboleda. Bogotá.
- Otero, J.D., Figueroa, A., Muñoz, F.A., Peña, M.R. (2011). Loss of soil and nutrients by Surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering* 37: 2025-2043.
- Pabón, J.D. & Hurtado G. (2002). La variabilidad y el Cambio Climático y su efecto en los biomas de páramo. *Memorias del congreso Mundial de Páramos*, Tomo I. 160-165. Paipa.
- Pabón, J.D. (2012). Cambio climático en Colombia: tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 36 (139), 261-278.
- Pabón, J.D. (2011). El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Bogotá.
- Palacio, G. (2013). Cambio climático, retórica política y crisis ambiental: una nueva interfase entre las ciencias sociales y las ciencias naturales. En: Postigo, J.C. (Ed.). *Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria* (pp.51-74). Santiago de Chile: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO.

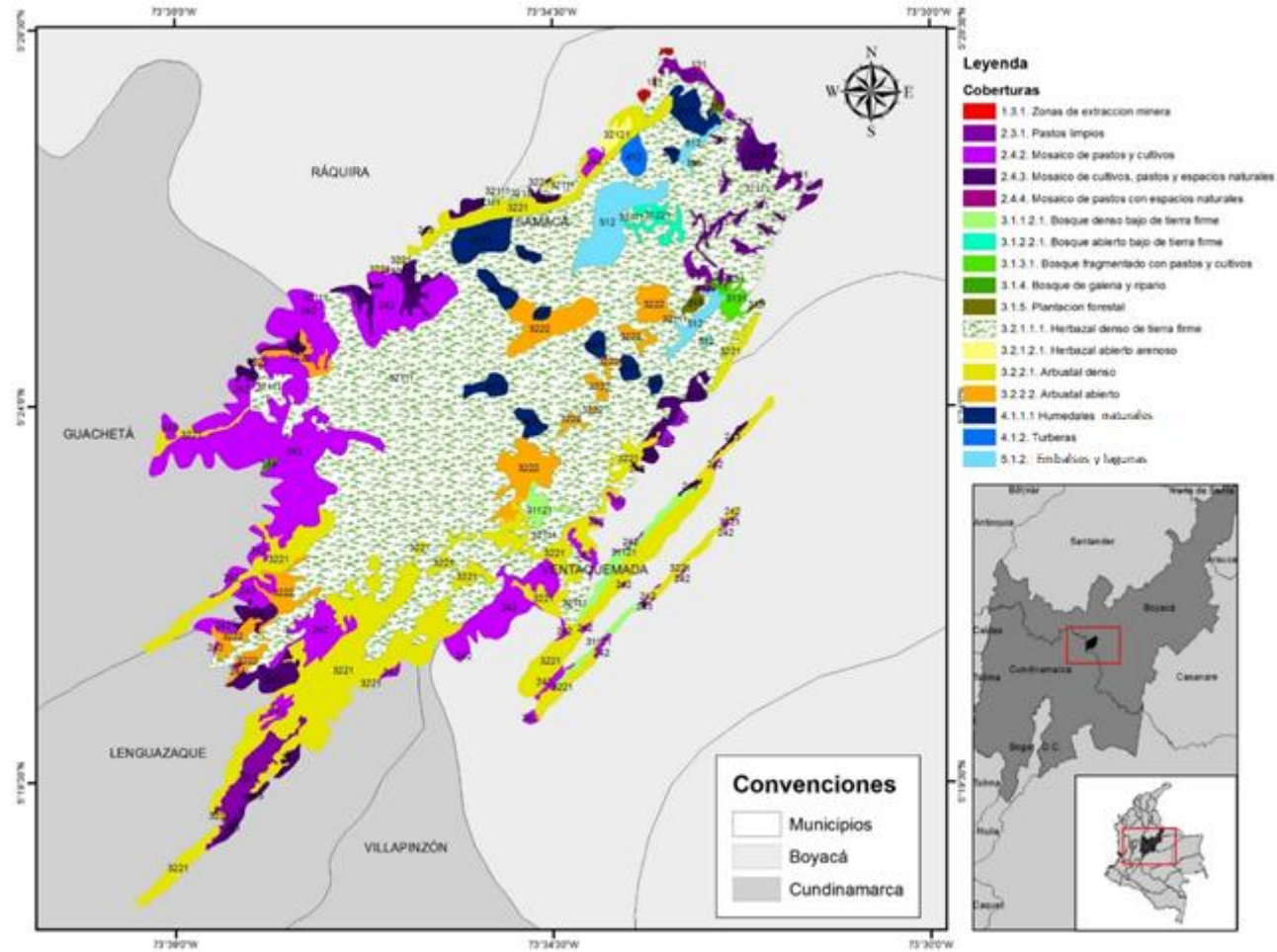
- Parra-S, L.N., Velásquez, C. & Rangel-Ch, O. (2002). El agua fósil, un extraordinario indicador paleo ambiental. Memorias Tomo II. Congreso Mundial de Páramos. Tomo I. 201-207. Paipa.
- Pérez, M.A., Navarro, H.F., Alvarez, R.Y. (2016). Propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad social en población afectada por el peligro de inundación: el caso e Aguilas (Murcia, sureste ibérico). Documents d'Anàlisi Geogràfica 26(1) 133-159.
- Pérez, F. A. (2013). La integración de la gestión de riesgos en la gestión del desarrollo local desde la perspectiva de la vulnerabilidad ambiental en los territorios. Revista Desarrollo Local Sostenible 5(13):1-7.
- Pérez, M.A. (2012). La aplicación de los gráficos radiales en el análisis contable del sector pesquero en Cataluña: gráfico radial y análisis contable. Revista Internacional de economía y Gestión de las Organizaciones 1 (2): 99-128.
- Peyre, G. (2015). Plant diversity and vegetation of the Andean Páramo. University of Barcelona, Faculty of Biology. Barcelona.
- PNUD. 2011. Formulando escenarios de cambio climático para contribuir con estrategias de desarrollo adaptadas al clima. Una guía para practicantes. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. New York. En: [file:///C:/Users/luishesh/Downloads/Formulating-SPN-web-final_11Nov11%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/luishesh/Downloads/Formulating-SPN-web-final_11Nov11%20(1).pdf).
- Postigo, J.C. (2013). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas. Reflexiones finales. (Páginas 295-302) En: Postigo, J.C. (editor). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO. Santiago de Chile.
- Postigo, J.C. (2013). Descuentos y potenciales sinergias entre las respuestas de campesinos y autoridades regionales frente al cambio climático en el sur andino peruano. En: Postigo, J.C. (Ed.). Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas, una vinculación necesaria. (pp.181-216). Santiago de Chile: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales, CLACSO.

- Prieto-Rozo, A. (2013). Cultura y vulnerabilidad en el contexto de cambio climático (Páginas 47-69) En: Ulloa A., Prieto-Rozo, A. (editores). Culturas, conocimiento, políticas y ciudadanías en torno al cambio climático. Colección Perspectivas Ambientales, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Rangel-Ch, O. (2018). El páramo colombiano: aspectos macroecológicos y ecológicos. En: Rangel-CH., J.O. (Ed.). Colombia Biodiversidad Biótica XVI. Patrones de riqueza y diversidad de las plantas con flores en el bioma de páramo (p.p.83-141). Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Ciencias Naturales. Bogotá.
- Rangel, O. (2000). Colombia, Diversidad Biótica III – La Región Paramuna. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Rangel-Ch, O. (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. En: Rangel-CH., O. (Ed.). Colombia Biodiversidad Biótica III (p.p.1-23). Bogotá: Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez-Eraso N., Pabón-Caicedo, J.D., Bernal-Suarez, N.R., Martínez-Collantes, J. (2010). Cambio climático y su relación con el uso de los suelos en los Andes Colombianos. Instituto de Investigación de recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá.
- Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., Avarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas altoandinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). Ciencia y Tecnología Agropecuaria 11 (2), 173-182.
- Rojas, O.D., Canal, A.F., Murcia, D. & Pajarito, D. (2012). Modelo para el Análisis de la Vulnerabilidad territorial ante la variabilidad y el cambio climático, documento de trabajo. SDA – PRICC. Bogotá.
- Ruíz, D. (2013). Adaptation strategies to climate change in the tropics: analysis of two multifactorial systems. (High-Altitude Andean

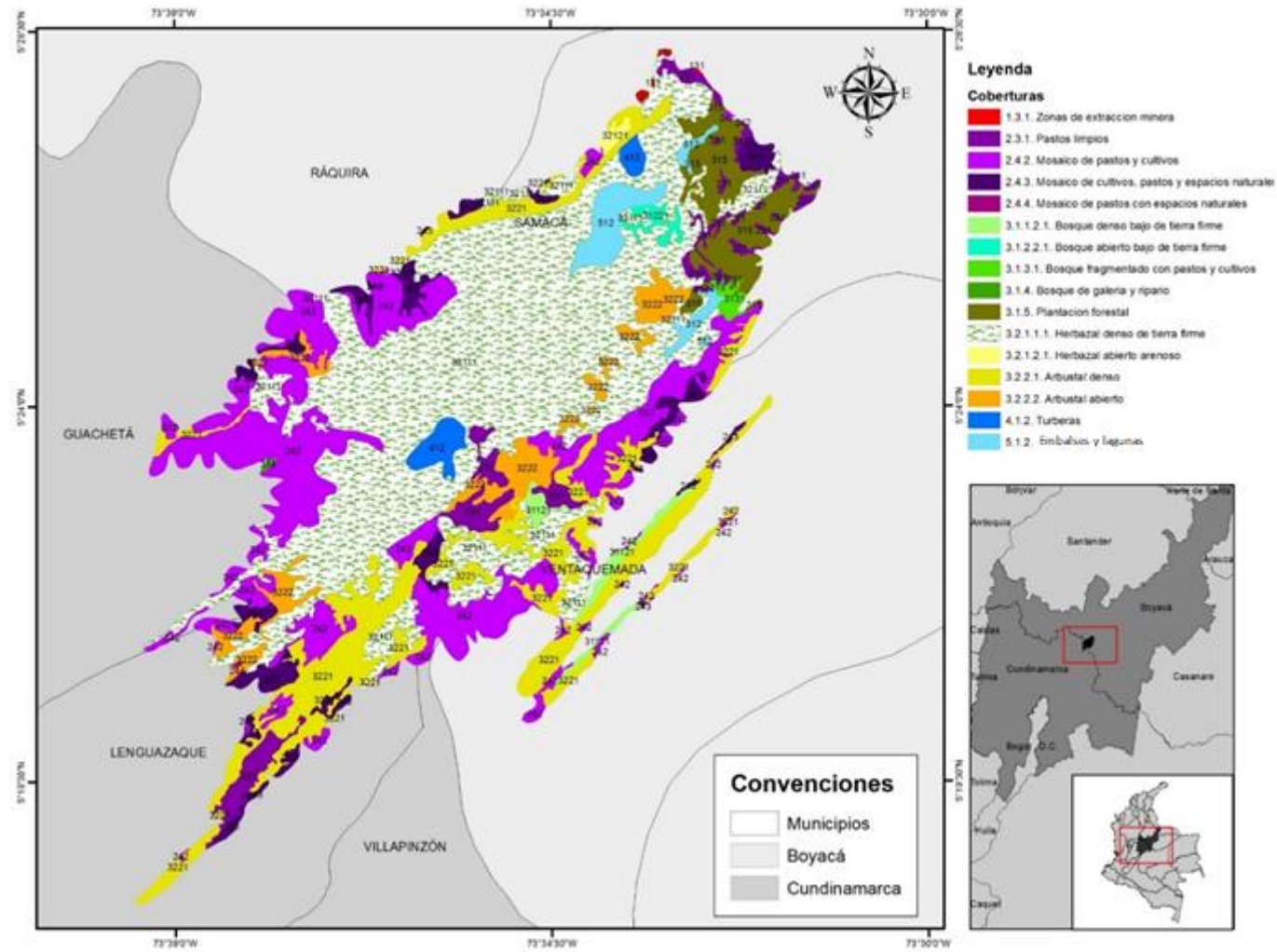
- ecosystems and *Plasmodium falciparum* Malaria infections) Columbia University. New York. 383p.
- Ruíz, D., Moreno, H.A., Gutiérrez, M.E. & Zapata P.A. (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the total Environment* 398, 122-132.
- Ruíz, R.N., Galicia, L. (2016). La escala geográfica como concepto integrador en la comprensión de problemas socio-ambientales. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM.* 89, 137-153.
- Salas-Zapata, W., Ríos-Osorio, L., Alvarez-Del Castillo, J. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral* 22. En: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/15788/Marcoconceptual.pdf>
- Serrano, D.G. & Galárraga, S.R. (2015). El Páramo Andino: características territoriales y estado ambiental. *Aportes interdisciplinarios para su conocimiento. Estudios Geográficos* 76(1):369-393.
- Smith, B. & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16: 282-292.
- Torres, M.F. (2012). Clima en colectivo. Reflexiones sobre la interdisciplina (páginas 147-157) En: Picasso, V., Cruz, G., Astigarraga, L. & Terra, R. (editores). *Cambio y Vulnerabilidad Climática. Respuestas Interdisciplinarias.* Universidad de la República de Uruguay. Montevideo.
- Tovar, C., Arnillas, C.A., Cuesta, F. & Buytaert, W. (2013). Diverging responses of tropical andean biomes under future climate conditions. *PLoS One*, 8 (5). (online) URL: www.plosone.org.
- Urquiza, G.A., Cardenas, H. (2015). Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a la vulnerabilidad hídrica. *L'Ordinaire Des Amériques* 218: 0-22. DOI: <https://doi.org/10.4000/orda.1774>

- Valencia, J.B., Mesa, J., León, J.G., Madriñán, S., Cortés, A.J. (2020). Climate vulnerability assesment of the *Espeletia* Complexo on páramo sky islands in the Northern Andes. *Frontiers in Ecology and Evolution*. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.565708>
- Van Der Hammen, T. (2002). Diagnóstico, cambio global y conservación. Memorias Tomo II. Congreso Mundial de Páramos. Tomo I. 69 - 71. Paipa.
- Van Der Hammen, T. y Rangel, O. (1997). El estudio de la vegetación en Colombia. En: Rangel, O.; Lowy, P.; Aguilar, M. (Eds.). Colombia, Diversidad Biótica II. Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia). p.17-57.
- Vargas-Ríos, O. (1998). Problemas para la conservación, protección y manejo de los páramos. Memorias Curso Caracterización y Manejo de las Zonas de Páramo. Ministerio del Medio Ambiente, ICFES, Programa BID. Villa de Leyva (Colombia). 185p.
- Vásquez, D.L., Balslev, H.P. (2015). Human impact on tropical-alpine plant diversity in the northern Andes. *Biodiversity and Conservation* (24): 2673-2683.
- Young, B., Young, K.R. & Josse, C. (2012). Vulnerabilidad de los Ecosistemas de los andes Tropicales al cambio climático (Paginas 69-71) en Herzog, S.K., Martínez, R., Jorgenssen, P.M. & Tiessen, H. (editores). Cambio Climático y Biodiversidad en los Andes Tropicales. Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global y Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente. (SCOPE). Paris.
- Zuleta, P.M. (2012). La ilusión llamada Páramo de Rabanal. *Nómadas*. 37: 55-70.

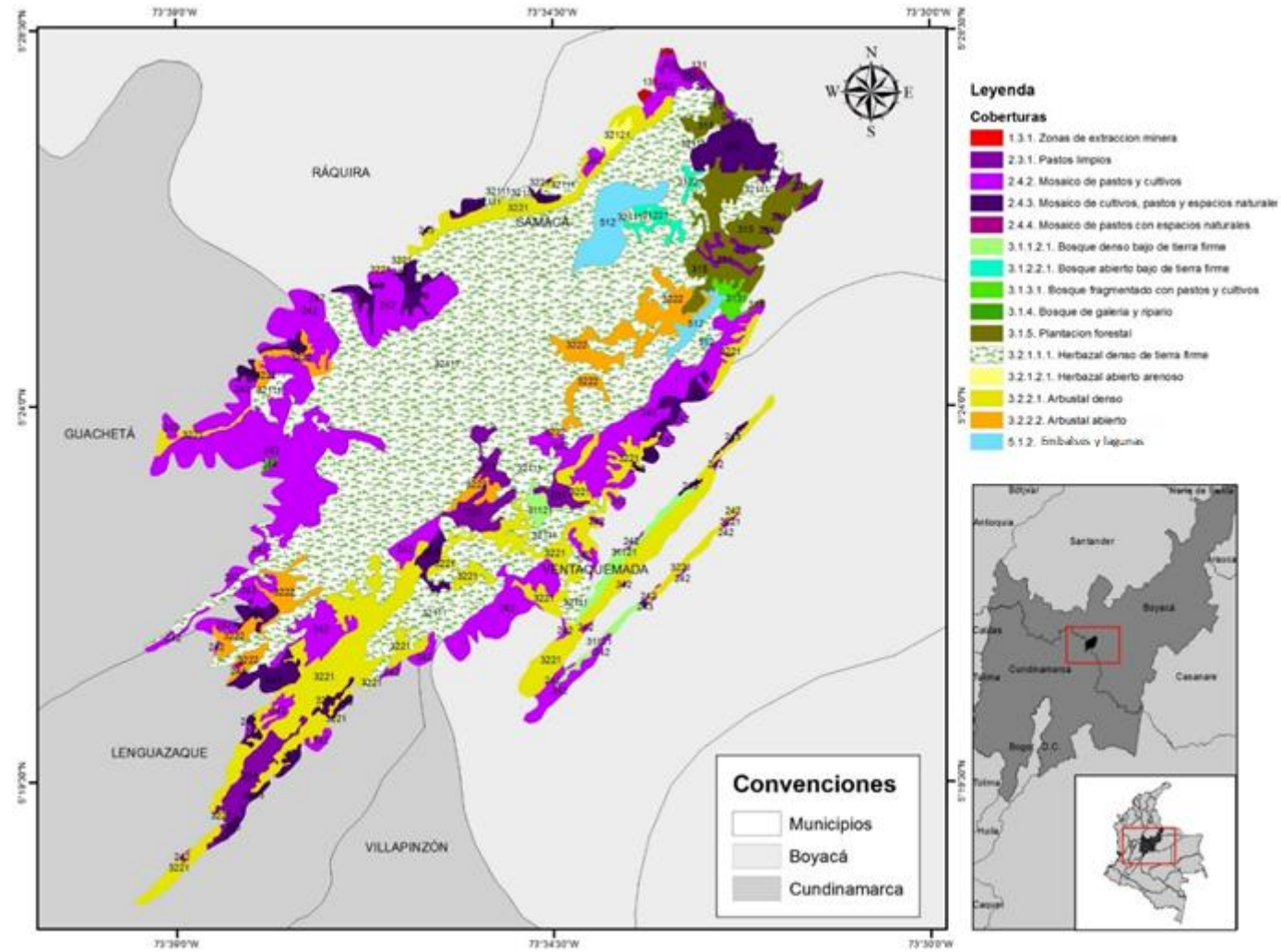
10. ANEXOS. Anexo 1. Mapa de cobertura de 1980



Anexo 2. Mapa de Cobertura de 2001.



Anexo 3. Mapa de Cobertura de 2016.



Anexo 4. Definición de indicadores, con la fuente de información y criterio de evaluación respectivo.

FACTOR	COMPONENTE	INDICADORES	DEFINICION	FUENTE / METODO	CRITERIO DE EVALUACION
EXPOSICION	VARIACION CLIMATICA	Variación de la temperatura	Tendencia en el aumento de temperatura (valores extremos) mensuales en los últimos 40 años.	Análisis de tendencias.	Resultados de la variación de la temperatura de acuerdo con las tendencias reportadas por la bibliografía: 5 . Variación de la temperatura en total desacuerdo con lo reportado por la bibliografía: 1 .
		Variación de la precipitación	Tendencia en la disminución de la precipitación mensual en los últimos 40 años.	Análisis de tendencias.	Resultados de la variación de la precipitación de acuerdo a las tendencias reportadas por la bibliografía: 5 . Variación de la precipitación en total desacuerdo con las tendencias reportadas por la bibliografía: 1 .
	ACTIVIDAD ANTROPICA	Agricultura	Area dedicada a la producción agrícola.	Análisis actual de coberturas.	Area agrícola es igual o superior al 30% del área total del páramo: 5 . Area agrícola está por debajo del 10% del área total del páramo: 1 .
		Minería	Actividad minera de carbón (títulos mineros).	Análisis actual de coberturas.	Area dedicada a la minería (extracción de carbón y producción de coque) es igual o supera el 10% del área total del páramo: 5 . Area dedicada a la minería (extracción de carbón y producción de coque) está por debajo del 10% del área total del páramo: 1 .
		Plantaciones forestales	Area dedicada a plantaciones forestales de especies exóticas.	Análisis actual de coberturas.	Area dedicada a plantaciones forestales supera el 20% del área total del páramo: 5 . Area dedicada a plantaciones forestales está por debajo del 10% del área total del páramo: 1 .
SENSIBILIDAD	POBLACION	Densidad de la población en área del páramo	Dinámica de la población de los habitantes del páramo Rabanal	Análisis retrospectivo de coberturas e información reportada por entidades oficiales.	Incremento de la población en los últimos 30 años en un 25%: 5 . Valores constantes o disminución de la población en los últimos 30 años en un 5%: 1 .
		Sistemas de producción agrícola.	Establecimiento de sistemas de producción agrícola en el área correspondiente al páramo Rabanal	Análisis retrospectivo de coberturas.	Incremento del área dedicada a producción agrícola en los últimos 30 años en 25% o más: 5 . Valores constantes o disminución del área dedicada a la producción agrícola en los últimos 30 años en un 5% o menos: 1 .
	DEGRADACION AMBIENTAL	Minería de carbón	Area del páramo con presencia de explotación minera y tasas de producción.	Análisis retrospectivo de coberturas e información reportada por entidades oficiales.	Incremento de la producción de carbón en el área (extracción) en los últimos 30 años en un 50 %: 5 . Valores constantes o disminución producción (extracción) en los últimos 30 años en un 10% o menos: 1 .
		Producción de coque	Area del páramo con presencia de hornos para la producción de coque.	Análisis retrospectivo de coberturas e información reportada por entidades oficiales.	Incremento de la producción de coque en los últimos 30 años en un 50%: 5 . Valores constantes o disminución de la producción de coque en los últimos 30 años en un 10% o menos: 1 .
	Ocupación del territorio	Vivienda.	Tipos de construcciones de la vivienda.	Censo Nacional Agropecuario y planes de desarrollo municipales.	Incremento del área dedicada a construcción de viviendas en los últimos 30 años en un 25%: 5 . Valores constantes o disminución del área dedicada a construcción de vivienda en los últimos 30 años en un 5 % o menos: 1 .
		Area de páramo no conservada	Area del páramo con la presencia de algún tipo de actividad, diferente a conservación.	Análisis retrospectivo de coberturas.	Incremento del área no conservada de páramo supera el 30% del área total: 5 . El Area no conservada del páramo está por debajo del 10% del área total: 1 .

CAPACIDAD DE ADAPTACION	PRODUCCION AGRICOLA	Producción de papa	Area de producción de papa utilizando buenas prácticas agrícolas.	Análisis de coberturas actual, entrevistas e información reportada por entidades oficiales.	Area dedicada a la producción de papa mediante BPA supera el 10% del área total del páramo: 5 . Area dedicada a la producción de papa mediante BPA está por debajo del 10% del área total del páramo: 1 .
		Producción de pastos	Disminución en el área de páramo dedicada al cultivo de pastos para ganadería.	Análisis retrospectivo y de coberturas actual.	Disminución del área de páramo dedicada la producción de pastos del orden del 20% o más, por década del área total: 5 . Disminución del área de páramo dedicada la producción de pastos del orden del 5% o menos del área total por década: 1 .
	TECNOLOGIA PARA LA PRODUCCION	Sistema de barbechos	Practica cultural del barbecho.	Análisis de coberturas actual y entrevistas, información del proyecto realizado sobre barbechos.	Area dedicada a la producción utilizando el sistema de barbechos supera el 20% del área de la producción convencional: 5 . Area dedicada la producción utilizando el sistema de barbechos está por debajo del 100% del área dedicada a la producción convencional: 1 .
	RECURSOS NATURALES	Disponibilidad de agua	Presencia de fuentes de agua como quebradas, ríos, humedales, embalses.	Análisis de cobertura, modelamiento sistema hídrico e información reportada por entidades oficiales.	El área correspondiente a cuerpos de agua (embalses, lagunas, humedales) se ha mantenido o incrementado en los últimos 40 años: 5 . El área correspondiente a cuerpos de agua se redujo totalmente en los últimos 40 años: 1
		Superficie de páramo conservado	Area del páramo en estado de conservación, sin rastro de intervención.	Análisis de coberturas, actual y retrospectivo y trabajo en campo.	El área correspondiente a páramo conservado se ha mantenido o incrementado en los últimos 40 años: 5 . El área correspondiente a páramo conservado se redujo en un 50% o más en los últimos 40 años: 1
		Cambio de uso del suelo	Area del páramo que estaba con proceso de reconversión hacia la conservación.	Análisis retrospectivo y actual del uso del suelo.	Disminución del área productiva por agricultura convencional, por minería u otro tipo de actividad antrópica en los últimos 40 años: 5 . Aumento del área productiva por agricultura convencional, por minería u otro tipo de actividad antrópica en los últimos 40 años: 1 .
	SALUD	Población que habita el páramo con acceso a servicios de salud	Análisis de la población con cobertura a servicios de salud.	Censo Nacional Agropecuario 2016 (Información suministrada por entidades oficiales).	Incremento en el acceso por parte de la población del páramo a servicios de salud, en los últimos 10 años: 10 . Acceso constante o disminución por parte de la población del páramo a servicios de salud, en los últimos 10 años: 1 .
		Esperanza de vida	Análisis poblacional sobre expectativa de vida de la población que habita en el páramo.	Censo Nacional Agropecuario 2016 (Información suministrada por entidades oficiales).	Incremento de la esperanza de vida por parte de la población del páramo en los últimos 10 años: 5 . Valor constante o disminución de la esperanza de vida por parte de la población del páramo, en los últimos 10 años: 1 .
	EDUCACION	Promedio escolaridad	Análisis del acceso del servicio de educación por parte de la población que habita en el páramo.	Censo Nacional Agropecuario 2016 (Información suministrada por entidades oficiales).	Incremento de la escolaridad de la población del páramo en los últimos 10 años: 5 . Valor constante o disminución de la escolaridad por parte de la población del páramo, en los últimos 10 años: 1 .
	PROCESOS DE GOBERNANZA	Capacidad decisoria de las comunidades	Análisis de la capacidad organizativa y de toma de decisiones de las comunidades en función de tomar acciones para conservar el páramo.	Entrevistas e información suministrada por entidades oficiales.	Incremento en el 50% de organizaciones sociales de las comunidades que viven en el páramo o fuera que toman decisiones frente a su territorio: 5 . Disminución o se mantuvo constante el número de organizaciones sociales de las comunidades que viven en el páramo o fuera que toman decisiones frente a su territorio: 1 .
	PROCESOS DE GOBERNABILIDAD	Capacidad decisoria del gobierno en sus 3 niveles nacionales, regionales y municipales.	Capacidad de un sistema sociopolítico para gobernarse, depende tanto de las reglas de juego como de la influencia sobre ellas.	Normatividad vigente sobre páramos.	A mayor gobernabilidad mayor capacidad institucional de satisfacción de necesidades. Se tiene en cuenta la efectividad de las normas. A mayor efectividad 5 y a menos efectividad 1 .

